



ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO INVESTIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE ARREFECIMENTO DE ÁGUA

THALISSON HENRIQUE PETRIN SILVA

março de 2018

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO INVESTIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE ARREFECIMENTO DE ÁGUA NUM EDIFÍCIO COMERCIAL

Thalisson Henrique Petrin Silva

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto

MEM

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E DO INVESTIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE ARREFECIMENTO DE ÁGUA NUM EDIFÍCIO COMERCIAL

Thalisson Henrique Petrin Silva

1162129

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro.

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto

MEM

JÚRI

Presidente

Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira, Especialista

Professor Adjunto, DEM, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Leonardo José da Silva Ribeiro, PhD

Professor Adjunto, DEM, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Joaquim Fernandes Monteiro

Técnico Superior, DEM, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Alexandre de Oliveira Lopes, PhD

Professor Adjunto, DEM, UNIS – Centro Universitário do Sul de Minas, Brasil

Arguente

Ana Isabel Palmero Marrero, PhD

Professor Auxiliar, DEM, FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

No final desta etapa, não posso deixar de agradecer a todos aqueles que tiveram um contributo importante na realização deste trabalho.

Primeiramente agradeço a Deus por todas as oportunidades que me foram dadas neste último ano e por todas as minhas conquistas.

Ao meu orientador, Professor Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro, pela disponibilidade que teve ao longo de todo o projeto e pelo apoio que sempre me prestou.

Ao coorientador, Engenheiro Joaquim Monteiro, pelo acompanhamento e apoio que deu durante este ano.

Agradeço ao Coordenador Professor Mestre Alexandre de Oliveira Lopes do UNIS-MG (Brasil), pelos incentivos e toda a ajuda que me prestou ao longo de todo o trabalho.

Ao grupo UNIS-MG e todos os colaboradores que apostaram na minha capacidade e fizeram o possível para que tudo ocorresse bem.

À minha família e aos amigos pelo encorajamento e motivação que foram dando no decorrer desta etapa.

A todos que, de qualquer forma, contribuíram para a realização de minha dissertação.

PALAVRAS CHAVE

Eficiência energética. Estimativa do consumo de energia. Reutilização de água.

RESUMO

A presente dissertação apresenta um estudo da eficiência energética e o investimento de uma instalação de um equipamento térmico de arrefecimento de água num edifício comercial situado na cidade do Porto. O objetivo deste trabalho é analisar a eficiência energética da implantação de um equipamento de arrefecimento de água com condensação a água num edifício comercial e realizar as estimativas de consumo de energia elétrica, emissão de CO₂ e consumo de água. Este propósito será conseguido mediante a utilização de dados históricos, onde aplicando o estudo das temperaturas ambiente do exterior e consumos de energia elétrica, foram feitas análise energética e previsões do investimento, como o cálculo do tempo de retorno, valor atual líquido e a taxa interna de retorno. A análise comprovou que o investimento no equipamento térmico de arrefecimento de água com condensação a água, reduziu o consumo de energia elétrica em 22 % para uma previsão sem o aumento de temperatura global, reduzindo diretamente a emissão de CO₂ na mesma percentagem e considerando o aumento de temperatura, obteve-se uma redução de consumo de 24,8 %. Além da eficiência energética apresentada, o investimento exibiu um tempo de retorno de 5 anos e 6 meses e valores de taxa de investimento de 12,5 % para a situação sem aumento de temperatura ambiente global e de 13,1 % para a segunda situação com o aumento de temperatura ambiente global.

KEYWORDS

Energy efficiency. Estimate of energy consumption. Reuse of water.

ABSTRACT

The present dissertation presents a study of energy efficiency and the investment made in a water cooling equipment in a commercial building located in the city of Porto. The objective of this paper is to analyze the energy efficiency of the implantation of a condensing water cooling equipment in a commercial building and to carry out the estimates of electrical energy consumption, CO₂ emission and water consumption. This purpose will be achieved using historical data, where by applying the study of temperatures and energy consumption, energy analysis and investment forecasts were made, such as calculation of the payback, net present value and the internal rate of return. The analysis showed that the investment in thermal water cooling equipment with water condensation reduced electrical energy consumption in 22% for a forecast without the increase of global temperature, directly reducing CO₂ emissions by the same percentage and considering the temperature rise, was obtained a consumption reduction of 24.8 %. In addition to the energy efficiency presented, the investment showed a return time of 5 years and 6 months, investment rate values of 12.5 % for the situation without global ambient temperature increase and 13.1 % for the second situation with global ambient temperature increase.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Adene	Agencia Nacional de Energia
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
ASK	Allen, Stott e Kettleborough
BAC	<i>Baltimore Aircoil Company</i> (Companhia Baltimore Aircoil)
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETAR	Estação de Tratamento de Água Residual
FEMP	<i>Federal Energy Management Program</i> (Programa Federal de Gestão de Energia)
GTC	Gestão Técnica Centralizada
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
PNUEA	Programa nacional para o uso eficiente da água
REN21	<i>Renewables Energy Policy Network for the 21st Century</i> (Rede Política de Energias Renováveis para o Século XXI)
RPC	<i>Representative Concentration Pathways</i> (Percursos de Concentração Representativos)
TIR	Taxa Interna de Retorno
UE	União Europeia
UV	Ultravioleta
VAL	Valor Atual Líquido

Lista de Símbolos

A	Área [m ²]
Ac	Água captada [m ³]
At	Aumento de temperatura no período [°C]
Atma	Aumento de temperatura média anual [°C]
C	Custo do reservatório [€]
Ca	Consumo de energia elétrica pela captação da água [kWh]
Ce	Coeficiente de escoamento
COP	Coeficiente de desempenho
Ct	Comprimento da tubulação [m]
DN	Diâmetro nominal [m]
FC	Fluxo de caixa no período [€]
Fpc	Fator de perda de carga
H	Altura manométrica [m]
i	Custo do capital
Io	Investimento inicial [€]
La	Lucro anual [€]
Lt1	Linha de tendência 1 ($2544,9x^2 - 56196x + 394796$)
Lt2	Linha de tendência 2 ($2032,1x^2 - 34961x + 249357$)
Ma	Valor da manutenção [€]
n	Número de períodos t
na	Ano a calcular, sendo ele $2018 < n \leq 2032$
P	Potência [kW]
Pct	Potência total da central térmica atual [kW]
Pe	Período [anos]
Pe1	Potência do evaporador dos equipamentos antigos [kW]
Pe2	Potência do evaporador do novo equipamento [kW]
Pr	Precipitação [mm]
Q	Caudal [m ³]
R	Resultado médio do fluxo de caixa [€/ano]
t	É o enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido
T _{mn}	Temperatura média mensal do ar ambiente exterior [°C]
T _{mr}	Temperatura média do mês referência do ano de 2018 [°C]
TR	Tempo de retorno [anos]
V	Volume do reservatório [m ³]
Va	Valor da água utilizada [€]
VAL	Valor atual líquido [€]
Vq	Valor do kWh do ano referente [€/kWh]
Vp	Valor poupado por ano [€]

Vpm	Valor de energia elétrica consumida por mês [kWh]
ΔH	Diferença de altura [m]

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIAGRAMA DE FLUXO DE ENERGIA DE PORTUGAL.	8
FIGURA 2 - DIAGRAMA DE ENERGIA ELÉTRICA DE PORTUGAL.	9
FIGURA 3 - ENERGIA ELÉTRICA EM KTEP CONSUMIDA NO SETOR DE SERVIÇOS EM PORTUGAL 2000-2015.	9
FIGURA 4 - REPARTIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PORTUGAL PELA ENDESA EM 2016.	10
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DO PREÇO DE ENERGIA EM PORTUGAL.	11
FIGURA 6 - CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIO COMERCIAL.	11
FIGURA 7 - VARIAÇÃO DA PROCURA DE ÁGUA ENTRE 2000 E 2009.	12
FIGURA 8 - QUANTIDADE DE ÁGUA NO MUNDO.	13
FIGURA 9 - ESTIMATIVA DE PAÍSES COM MAIOR FALTA DE ÁGUA EM 2040.	14
FIGURA 10 - PREVISÃO DE AUMENTO DE TEMPERATURA AMBIENTE NO MUNDO.	15
FIGURA 11 - PROJEÇÃO DE TEMPERATURA AMBIENTE GLOBAL.	16
FIGURA 12 - CICLO BÁSICO DE COMPRESSÃO DE VAPOR.	17
FIGURA 13 - PLACAS DO CONDENSADOR COM TUBOS DE COBRES E ALHETAS DE ALUMÍNIO.	18
FIGURA 14 - EXEMPLO DE CONDENSADOR A ÁGUA.	18
FIGURA 15 - CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CONDENSADORES ARREFECIDOS POR AR.	19
FIGURA 16 - CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CONDENSADORES ARREFECIDOS POR ÁGUA.	19
FIGURA 17 - DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM SISTEMA FECHADO DE TORRE DE ARREFECIMENTO.	21
FIGURA 18 - DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM SISTEMA ABERTO DE TORRE DE ARREFECIMENTO.	21
FIGURA 19 - COMPRESSÃO DO FLUIDO FRIGORIGÉNEO ATRAVÉS DO COMPRESSOR PARAFUSO.	24
FIGURA 20 - COMPRESSOR CENTRÍFUGO MAGNÉTICO.	24
FIGURA 21 - EIXO COM LEVITAÇÃO MAGNÉTICA.	25
FIGURA 22 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ÁGUA ARREFECIDA. (A) NOVO EQUIPAMENTO INSTALADO NA CENTRAL TÉRMICA; (B) CENTRAL TÉRMICA ANTIGA.	30
FIGURA 23 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO EQUIPAMENTO DE ARREFECIMENTO DE ÁGUA COM CONDENSAÇÃO A AR.	31

FIGURA 24 - EQUIPAMENTO DE ARREFECIMENTO DE ÁGUA COM CONDENSAÇÃO A AR.	31
FIGURA 25 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO COMPRESSOR A PARAFUSO.	32
FIGURA 26 - CONDENSADOR.	33
FIGURA 27 - EQUIPAMENTO DE ARREFECIMENTO DE ÁGUA COM CONDENSAÇÃO A ÁGUA.	33
FIGURA 28 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO.	34
FIGURA 29 - CONDENSADOR A ÁGUA.	35
FIGURA 30 - ECONOMIZADOR.	35
FIGURA 31 - TORRE DE ARREFECIMENTO.	36
FIGURA 32 - CIRCUITO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.	37
FIGURA 33 - DIÂMETRO E CAUDAL DO PRIMEIRO GRUPO DE TUBULAÇÕES.	38
FIGURA 34 - DIÂMETRO E CAUDAL DO SEGUNDO GRUPO DE TUBULAÇÕES.	38
FIGURA 35 - NUMERAÇÃO DAS TUBULAÇÕES DE IDA E RETORNO DE CADA CIRCUITO DE CLIMATIZAÇÃO.	39
FIGURA 36 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR TEMPERATURA AMBIENTE DO EXTERIOR DO SISTEMA ANTIGO.	40
FIGURA 37 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR TEMPERATURA AMBIENTE DO EXTERIOR DO SISTEMA NOVO.	41
FIGURA 38 - COMPARAÇÃO DAS LINHAS DE TENDÊNCIA QUE INDICA O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS DOIS SISTEMAS.	42

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – TEMPERATURA AMBIENTE MÉDIA MENSAL 2009 – 2017.	40
TABELA 2 - TABELA DE TEMPERATURA MÉDIA MENSAL GERADA PELO CLIMAS-SCE COMO ANO DE REFERÊNCIA.	43
TABELA 3 - CÁLCULO DO VAL.	49
TABELA 4 - VALORES PAGOS POR METRO CÚBICO NA ÁGUA DA REDE.	51
TABELA 5 - CUSTOS DOS COMPONENTES PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.	52

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento do trabalho.....	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia	2
1.4	Estrutura.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Energia	7
2.1.1	Origens da energia elétrica em Portugal	8
2.1.2	Evolução e estimativa do valor de energia elétrica em Portugal	10
2.2	Consumo de energia elétrica nos centros comerciais para arrefecimento ambiente	11
2.3	Consumo da água	12
2.3.1	Impactos ambientais	13
2.3.2	Reutilização da água	14
2.4	Estimativa do aumento da temperatura ambiente global.....	15
2.5	Máquinas térmicas	16
2.5.1	Condensação a ar	17
2.5.2	Condensação a água	18
2.5.3	Relação entre condensador a ar e água	19
2.6	Torres de arrefecimento	20
2.6.1	Controlo de qualidade da água	22

2.7 Compressores	23
2.7.1 Compressor parafuso	23
2.7.2 Compressor centrífugo magnético	24
3 DESENVOLVIMENTO	29
3.1 Caracterização do edifício	29
3.1.1 Central térmica de arrefecimento de água	29
3.1.2 Circuito de distribuição de água	37
3.2 Histórico de dados	39
3.3 Estudo energético da central térmica	41
3.3.1 Relação das linhas de tendência de consumo	42
3.3.2 Consumo de energia elétrica da captação de água do poço	44
3.3.3 Previsão do consumo de energia elétrica	45
3.3.4 Previsão de emissão de CO ₂	45
3.4 Análise económica de investimento	46
3.4.1 Previsões de poupança	46
3.4.2 Estimativa do tempo de retorno do investimento	47
3.4.3 Estimativa do valor atual líquido	48
3.4.4 Estimativa da taxa interna de retorno	50
3.5 Utilização da água.....	50
3.5.1 Água do poço	50
3.5.2 Consumo da água da rede	50
3.5.3 Água pluvial	51
4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	57
4.1 CONCLUSÕES	57
4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	58
5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	63

6	ANEXOS	69
6.1	Energia consumida pela central térmica	69
6.2	Temperatura média ambiente	69
6.3	Programa CLIMAS-SCE	70
6.4	Previsões de temperaturas	70
6.5	Cálculo do tempo de retorno	71

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do trabalho

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do trabalho

A demanda mundial de energia está aumentando significativamente (Kannan & Vakeesan, 2016). A principal razão para isso é o crescimento da população, que hoje atinge mais de 7×10^9 de pessoas (Worldometers, 2017). Muitas fontes de energia são utilizadas para atender a demanda de energia elétrica no mundo todo. No entanto, em 2016, cerca de 80,7 % da eletricidade foi gerada por combustíveis fósseis e fontes nucleares que causam poluição ambiental (CO_2 no caso de combustíveis fósseis) e em torno de 19,3 % foi gerada pelas energias renováveis (REN21, 2017).

De 2014 a 2016, as emissões globais de dióxido de carbono relacionadas à energia dos combustíveis fósseis e da indústria mantiveram-se constantes, aumentando apenas 0,2 %, devido em grande parte à queda do uso de carvão, mas também a melhorias na eficiência energética e ao aumento do uso de energias renováveis (REN21, 2017).

Com a preocupação pelo aumento de temperatura dos últimos anos, já foram criados tratados internacionais entre países em relação a diminuição dos gases que causam o efeito estufa e ao desenvolvimento sustentável, como por exemplo a Eco-92, o Protocolo de Quioto, entre outros que estão em vigor e que estão a serem implantados.

Ao usar a energia de forma mais eficiente, pode-se reduzir o consumo de energia, reduzir a dependência de fornecedores externos de petróleo e gás natural e ajudar a proteger o meio ambiente (European Commission, 2017).

A eficiência energética deve ser aumentada em todas as etapas da cadeia energética, desde a geração ao consumo final. As medidas da UE (União Europeia), portanto, se concentram em setores onde o potencial de poupança é maior, como os edifícios (European Commission, 2017).

Este trabalho assenta exatamente nessa questão da busca pela eficiência energética, em que um edifício comercial situado no distrito do Porto, por necessidade de melhorias no sistema de arrefecimento de ambiente, adquiriu um novo equipamento de arrefecimento de água. Assim, previu minimizar os custos e obter um tempo de retorno curto. Portanto, foi feito um estudo de caso sobre o investimento feito de forma qualitativa e quantitativa.

1.2 Objetivos

No âmbito de promover as ações de inovação do mercado atual em relação a eficiência energética, este trabalho foi criado para o estudo da eficiência energética do novo sistema e do custo do investimento.

Reunindo as ideias apresentadas, o trabalho desenvolvido teve como objetivo principal fazer um estudo energético da implantação de um equipamento de arrefecimento de água com condensação a água num edifício comercial e realizar uma análise de investimento com a utilização de ferramentas estatísticas como: tempo de retorno, valor atual líquido e a taxa interna de retorno.

Atendendo à resolução deste problema, tornou-se necessário traçar alguns objetivos secundários que levassem ao estudo e encontro das soluções, nomeadamente:

- Caracterizar a central térmica do edifício;
- Identificar o consumo antes e depois da aquisição do novo equipamento;
- Desenvolver estatísticas e previsões de consumo;
- Determinar a eficiência energética do novo sistema;
- Calcular o TR (Tempo de retorno) do investimento;
- Calcular o VAL (Valor atual líquido);
- Calcular o TIR (Taxa interna de retorno);
- Caracterizar o investimento;
- Calcular consumo de água;
- Realizar projeto de captação de água.

Após o estudo e concretização de cada objetivo, foi realizada a composição da presente dissertação que procura referenciais teóricos, mas também, a identificação de sustentabilidade energética de um sistema e os respetivos resultados.

1.3 Metodologia

De acordo com o objetivo principal e devido à complexidade intrínseca encontrada, e tendo em conta a continuação dos objetivos anteriormente mencionados, tornou-se necessário definir uma metodologia dividida nas seguintes tarefas:

- Análise dos equipamentos da central térmica;

- Identificação do histórico de temperatura ambiente exterior na região;
- Identificação do consumo energético antes e depois da otimização;
- Análise do investimento utilizando indicadores de viabilidade de investimento;
- Caracterização do investimento.

1.4 Estrutura

Este trabalho está dividido em cinco principais capítulos.

No primeiro capítulo, que diz respeito à Introdução, é realizado um enquadramento breve, são apresentados o objetivo principal e os objetivos específicos, descrita a metodologia e delineada a sua estrutura.

No segundo capítulo, intitulado por Revisão Bibliográfica, é apresentada toda a informação necessária à fundamentação do trabalho desenvolvido, onde se procurou envolver referenciais teóricos, técnicos e científicos perante o estudo realizado.

No terceiro capítulo, designado por Desenvolvimento, é realizado toda a análise dos dados fornecidos pelo edifício, efetuado cálculos de viabilidade de projeto e colocado em prática todos os objetivos do trabalho.

No quarto capítulo, denominado por Conclusão, é realizada uma reflexão sobre o projeto desenvolvido, sendo também especificadas propostas de trabalhos futuros.

Finalmente, no quinto capítulo nomeado Bibliografia e Outras Fontes de Informações, é possível encontrar as referências bibliográficas, artigos, publicações e outras fontes de informação, utilizadas na realização deste trabalho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia

2.2 Consumo de energia elétrica nos centros comerciais para
arrefecimento ambiente

2.3 Consumo da água

2.4 Estimativa do aumento das temperaturas globais

2.5 Máquinas térmicas

2.6 Torres de arrefecimento

2.7 Compressores

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia

Vive-se atualmente uma época em que a energia se tornou um vetor essencial para o desenvolvimento das nações, constituindo o motor que alimenta o seu progresso. A contrapartida do uso intensivo de energia, nas suas diversas formas, releva-se na destruição progressiva do meio ambiente e na degradação da qualidade de vida (ERSE, 2017).

Especificamente o sector de produção de energia elétrica, foi responsável por cerca de 28% das emissões de CO₂ de 2007 no âmbito do sector da energia, tornando premente o desenho e implementação de soluções que minimizem o impacto ambiental, nomeadamente através do incentivo às fontes renováveis, da utilização de combustíveis mais limpos e da gestão dos consumos (ERSE, 2017).

A publicação de 2010 da Agência Internacional de Energia, *“Energy Technologies perspective, 2010 – Scenarios and Strategies to 2050”* refere que a eficiência energética no consumo final assume o papel preponderante para se alcançarem as metas de redução das emissões, com uma contribuição de 38%, comparando com os 17% proporcionados pela produção a partir de fontes renováveis (ERSE, 2017).

Segundo a Adene (2017), a política energética nacional (Portuguesa) assenta em dois pilares fundamentais, a racionalidade económica e a sustentabilidade, preconizando para isso medidas de eficiência energética, a utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis e a necessidade de reduzir custos.

A Adene (2017) também refere que os responsáveis pelo consumo de 40% da energia final na Europa são os edifícios e que o seu desafio é reduzir o consumo energético em 50%, o que representa uma redução anual de 4×10^8 de toneladas de CO₂.

É nesse contexto que surgiu a Diretiva nº 2002/91/CE, revista em 2010 (Diretiva nº 2010/31/CE), que estabelece que todos os Estados-Membros implementem um sistema de certificação energética nos edifícios (Adene, 2017).

De acordo com a Diretiva nº 2010/31/CE (2010), o seu objetivo é promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na UE, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade. Também estabelece requisitos para edifícios já existentes e edifícios novos a serem construídos.

O sector de construção de novos edifícios está em expansão, pelo que será de esperar um aumento do seu consumo de energia pelos edifícios. Por conseguinte, a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no

sector dos edifícios constituem medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética da União e as emissões de gases com efeito de estufa (Diretiva nº 2010/31/CE, 2010).

Conjugadas com uma utilização de energia proveniente de fontes renováveis, as medidas tomadas para reduzir o consumo de energia na União, permitirão cumprir o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, e honrar o seu compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2 °C e o seu compromisso de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa em pelo menos 20 % em relação aos níveis de 1990 (Diretiva nº 2010/31/CE, 2010).

2.1.1 Origens da energia elétrica em Portugal

É importante saber sobre a origem da energia elétrica de modo a conhecer quais os métodos de obtenção da energia, podendo recorrer à sua utilização de forma cada vez mais consciente e responsável, defendendo o meio ambiente e a sustentabilidade do planeta.

Em Portugal, segundo o Eurostat (2017), em 2015 26069 kTep de energia foram importadas para o país e a energia produzida obteve um valor de 5304 kTep. A Figura 1, apresenta o diagrama gerado sobre o fluxo de energia.

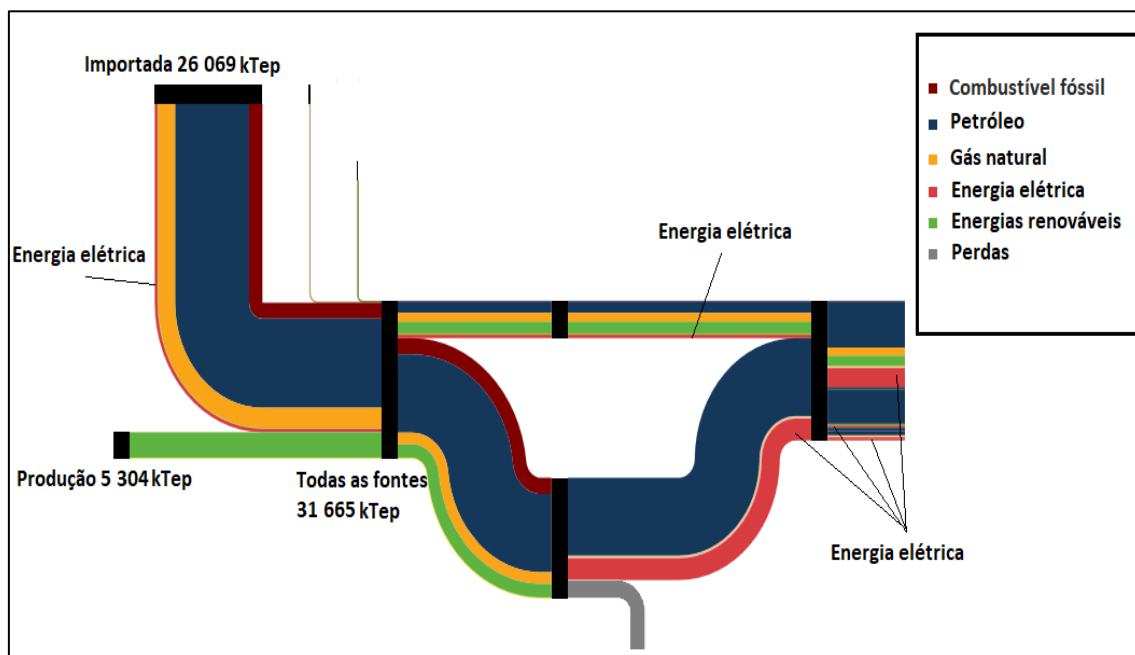


Figura 1 - Diagrama de fluxo de energia de Portugal (adaptado de Eurostat, 2017).

O consumo final de energia elétrica (Figura 2) é demonstrado no diagrama do Eurostat com 3 subdivisões: indústria, transporte e outros setores. Na subdivisão de outros setores, há o setor de serviços, onde está incluída toda energia consumida pelos centros comerciais e outros edifícios de serviço, que equivale a 1478 kTep.

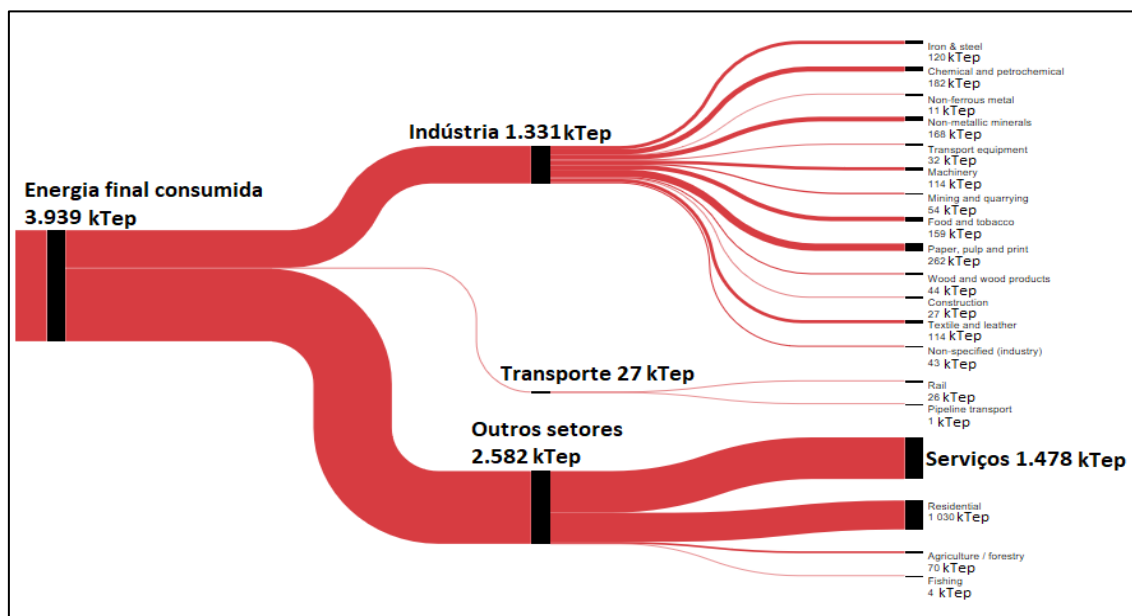


Figura 2 - Diagrama de energia elétrica de Portugal (adaptado de Eurostat, 2017).

A evolução do consumo de energia elétrica pelo setor de serviços de 2009 - 2015 (Figura 3), foi retirado dos dados recolhidos pelo Eurostat, onde demonstra a evolução do consumo que vem numa crescente aumentando o consumo a cada ano.

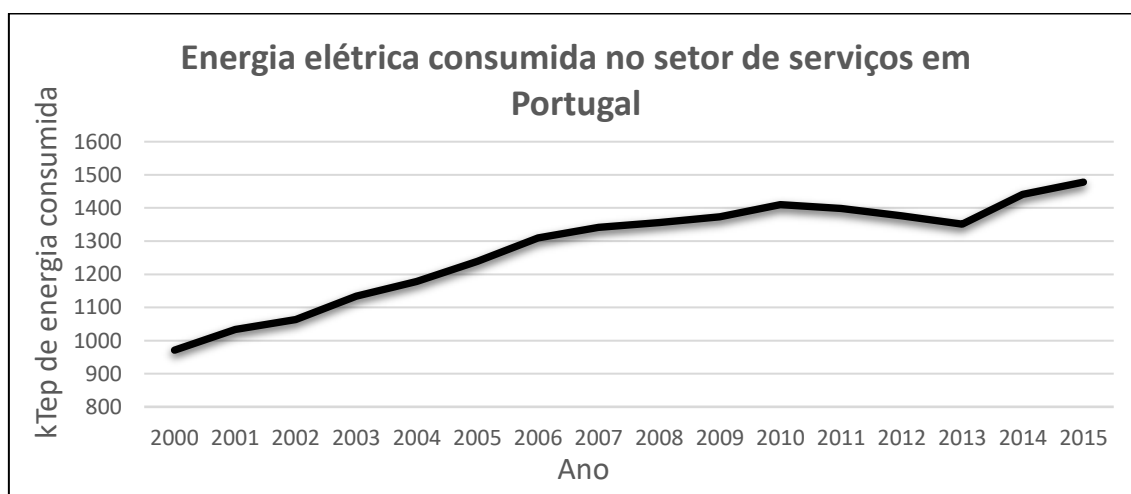


Figura 3 - Energia elétrica em kTep consumida no setor de serviços em Portugal 2000-2015 (adaptado de Eurostat, 2017).

O consumo energético dos edifícios na Europa, corresponde a aproximadamente 40% dos consumos totais de energia (DGEG, 2015).

Segundo a Endesa (2017), a origem da energia elétrica fornecida pela empresa em 2016 está descrita na Figura 4.

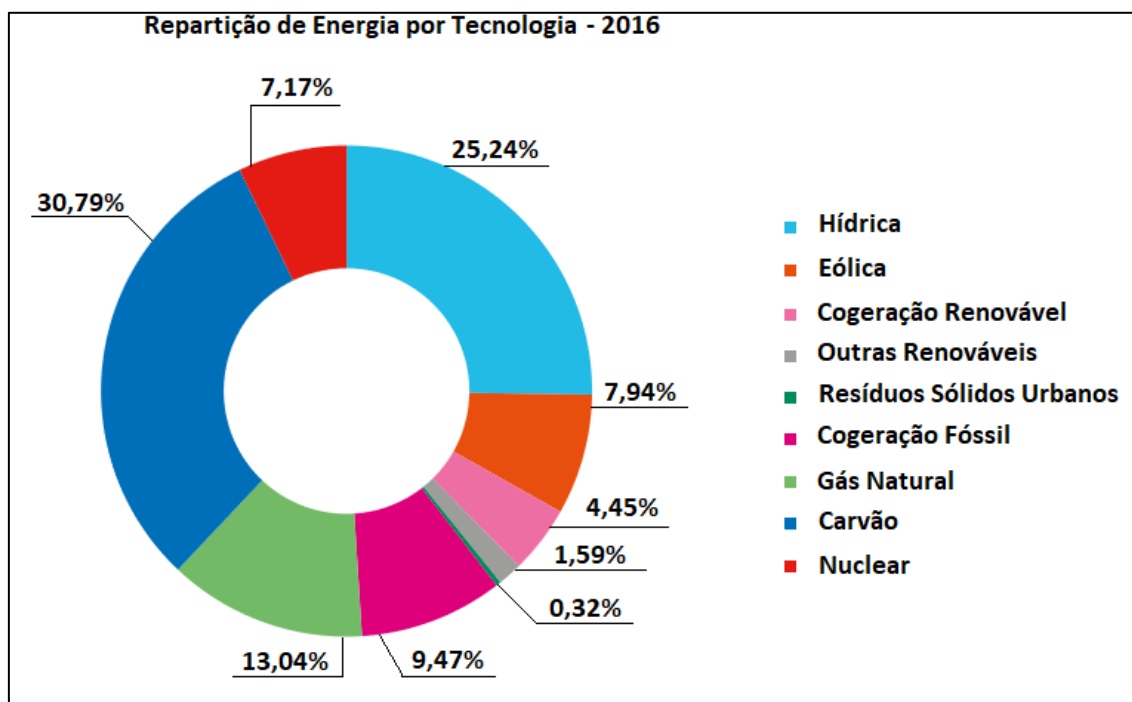


Figura 4 - Repartição de energia elétrica em Portugal pela Endesa em 2016 (adaptado de Endesa, 2017).

De acordo com a Endesa (2017), no ano de 2016 as emissões de CO₂ totalizaram um valor de 381,58 g/kWh.

2.1.2 Evolução e estimativa do valor de energia elétrica em Portugal

O preço da energia na UE depende de uma gama de diferentes condições de oferta e demanda, incluindo a situação geopolítica, a composição energética nacional do kWh, a diversificação das importações, os custos da rede, os custos de proteção ambiental, condições climáticas severas ou níveis de impostos especiais de consumo e impostos (Eurostat, 2017).

O histórico de valores pagos pela indústria em Portugal da energia elétrica segundo um artigo publicado pelo Eurostat (2017), apresenta-se na Figura 5.

	Industrial ⁽¹⁾		
	2014	2015	2016
EU-28	0,121	0,119	0,114
Portugal	0,119	0,115	0,113

(¹) Consumo anual: 500 MWh < consumo < 2000 MWh

Figura 5 - Evolução do preço de energia em Portugal (adaptado de Eurostat, 2017).

Prado (2016), conclui que em Portugal o consumo de eletricidade até 2021 deverá apresentar um crescimento médio anual de 0,6 %, uma previsão que fica abaixo da estimativa da EDP, que apontava para um crescimento anual da procura em torno de 1 %.

2.2 Consumo de energia elétrica nos centros comerciais para arrefecimento ambiente

Segundo European Commission (2010), em Portugal os sistemas de arrefecimento e aquecimento são o que utilizam a maior parte da energia consumida nos edifícios comerciais. O aquecimento é um fator de menor peso, sendo o arrefecimento de maior necessidade.

A Figura 6 indica uma percentagem de 32 % do uso de energia elétrica nos edifícios, para arrefecimento e aquecimento, sendo eles os maiores consumidores.

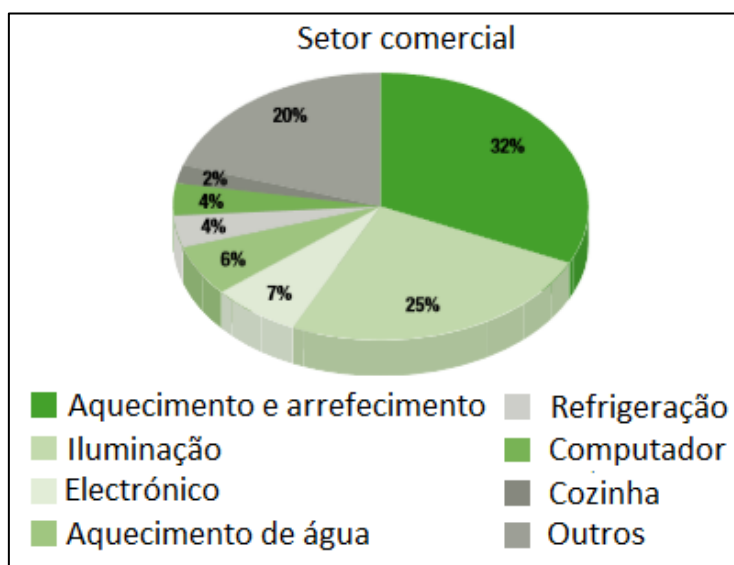


Figura 6 - Consumo de energia em edifício comercial (adaptado de Andrade, 2012).

2.3 Consumo da água

A água é considerada o principal recurso natural da terra, sendo indispensável para o desenvolvimento dos seres vivos e de inúmeras atividades humanas, como: industriais, agrícolas, comerciais e higiênicas. No entanto, a água tem sido degradada ao longo dos anos por essas atividades, gerando crise no abastecimento (May, 2004).

Embora a Europa seja considerada como tendo recursos hídricos adequados, a escassez de água e a seca são um fenômeno cada vez mais frequente e generalizado na União Europeia. O desequilíbrio a longo prazo resultante da demanda de água que excede os recursos hídricos disponíveis não é mais incomum (European Commission, 2016).

Portugal iniciou o século 21 com uma procura anual de água no território continental estimada em cerca de $7,5 \times 10^9 \text{ m}^3$, no conjunto dos três setores: urbano, agrícola e industrial. O setor agrícola é, em termos de volume, o maior consumidor (> 80 %). Em termos de custos de abastecimento, o setor urbano é o mais representativo, uma vez que a água para consumo humano requer tratamento prévio (PNUEA, 2012).

A procura total de água reduziu-se significativamente entre 2000 e 2009 (cerca de 43 %). Vários foram os fatores que contribuíram para esta redução. Diversas entidades gestoras de distribuição de água de abastecimento (setor agrícola) fizeram um esforço considerável para reduzir as perdas nos sistemas de transporte e distribuição (PNUEA, 2012).

Podemos verificar na Figura 7 a diferença na demanda de água de 2009 em relação ao ano 2000 em Portugal.

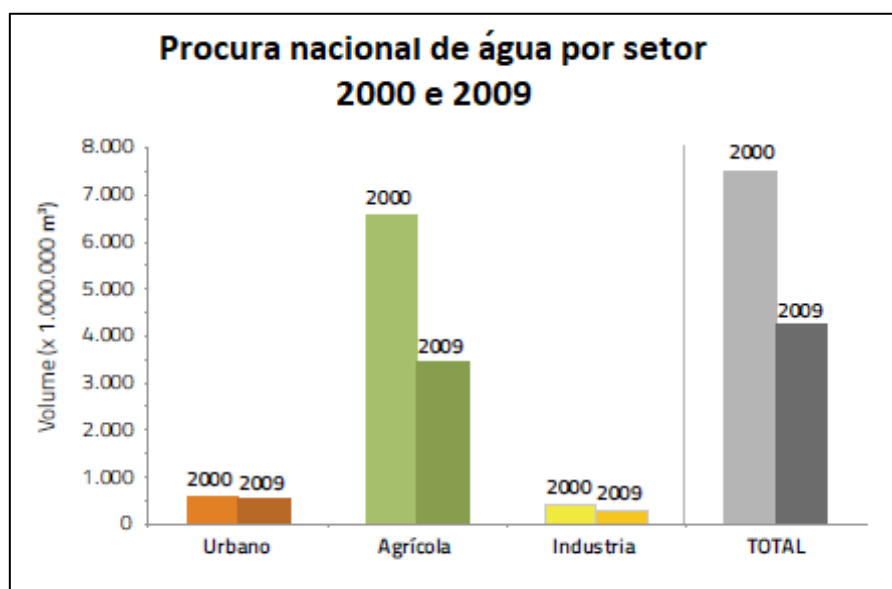


Figura 7 - Variação da procura de água entre 2000 e 2009 (PNUEA, 2012).

Como demonstrou a Figura 7, há uma grande preocupação em relação ao consumo de água desde o início do século e com isso o consumo vem diminuindo desde então. Nos próximos tópicos, tratar-se-ão os impactos ambientais e a relação de água com energia elétrica.

2.3.1 Impactos ambientais

Sobre os 100 % de água existente no planeta, menos de 3 % desse recurso é realmente água doce, dos quais 1 % é prontamente acessível (McClelland, 2016). A Figura 8 demonstra a percentagem de água no planeta.

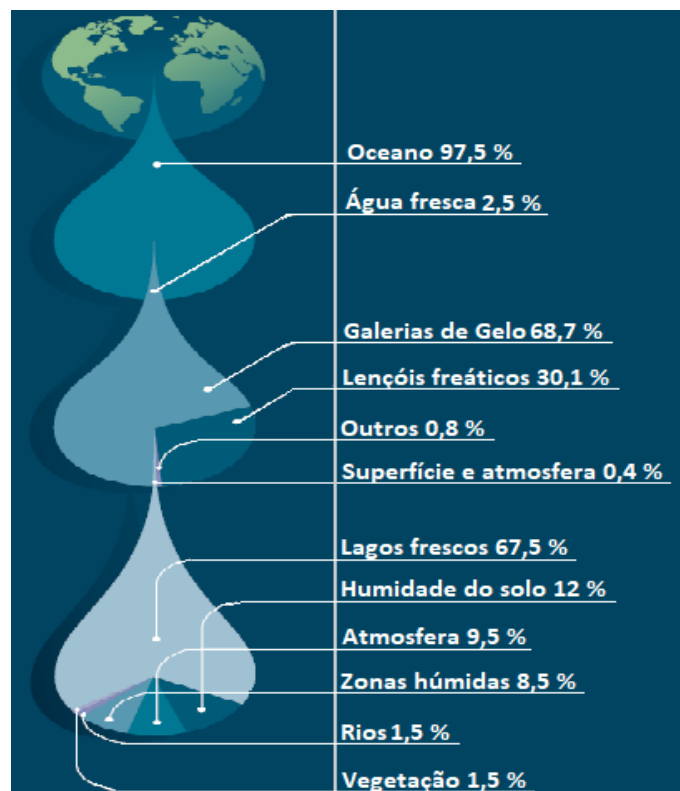


Figura 8 - Quantidade de água no mundo (adaptado de McClelland, 2016).

Paralelamente aos efeitos relacionados ao clima, existem duas outras importantes megatendências globais acelerando o impacto da escassez de água em todo o mundo: o crescimento populacional e a urbanização. Mais da metade da população já vive em cidades e essa proporção está prevista para crescer para 66 % até 2050. Isso significará mais de 2×10^9 de habitantes extras que precisam de água para beber, lavar e preparar comida (McClelland, 2016).

A Figura 9 apresenta a estimativa de países com maior falta de água em 2040, classificando a severidade da escassez.

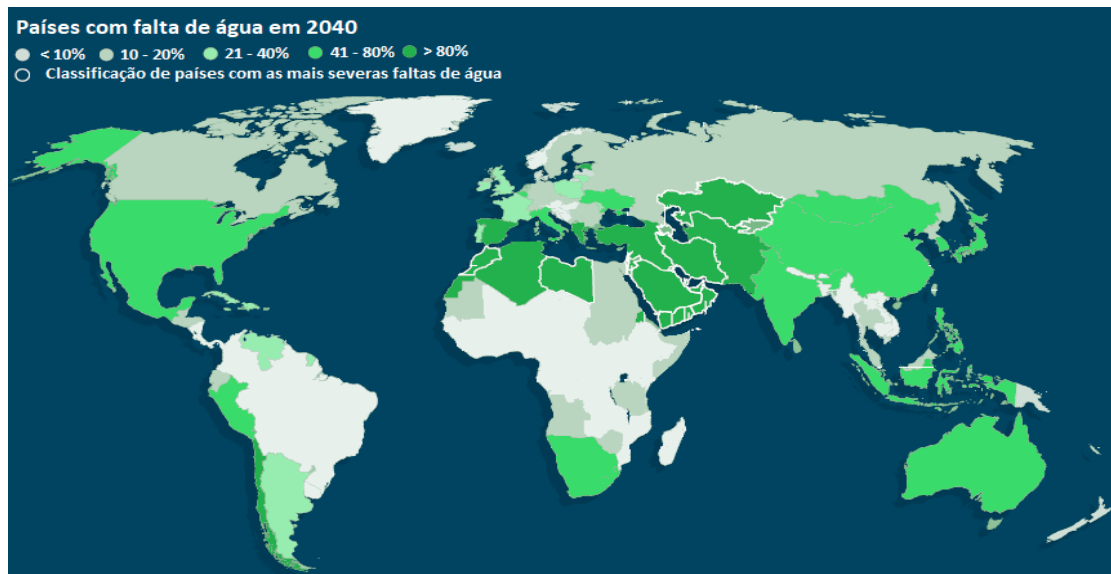


Figura 9 - Estimativa de países com maior falta de água em 2040 (adaptado de McClelland, 2016).

Água será um dos definitivos problemas deste século. A Anglian water (2016) já sugere que as crises da água são o terceiro maior risco global e que 40 % da população global estará vivendo em áreas de grave falta de água até 2050.

2.3.2 Reutilização da água

O manejo e o aproveitamento da água de chuva para uso doméstico, industrial e agrícola estão ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água para o consumo humano.

Segundo Tomaz (2001), a conservação da água é um conjunto de atividades com o objetivo de:

- Reduzir a demanda de água;
- Melhorar o uso da água e reduzir as perdas de desperdícios da mesma;
- Implantar práticas para economizar água.

Santos *et al.* (2011), concluíram que num edifício com uma área aproximada de 154000 m², o tempo de retorno de um investimento de um projeto de captação de água pluvial, giraria em torno de 5 anos, sendo que o custo da instalação foi de 109010 € e a poupança por ano de 20361 €.

2.4 Estimativa do aumento da temperatura ambiente global

Uma simulação climática é uma representação baseada no modelo do comportamento temporal do sistema climático sob força externa especificada e condições de fronteira. O resultado é a resposta modelada ao forçamento externo imposto combinado com a variabilidade gerada internamente (IPCC, 2013).

Uma previsão climática é uma declaração sobre a evolução futura de alguma visão do sistema climático que engloba componentes forçados e gerados internamente. As previsões climáticas não tentam prever a atual progressão diária do sistema, mas sim a evolução de algumas estatísticas climáticas, como médias sazonais, anuais ou de décadas ou extremos, que podem ser para uma localização específica, ou uma média regional ou global (IPCC, 2013).

Segundo o IPCC (2013), a Figura 10 demonstra a variação da anomalia de temperatura ambiente global ao longo dos anos desde a década de 60 do século 20 até o ano 2012, onde o componente da variação de temperatura é estimado pela média sobre os diferentes tipos de simulações de temperatura (linhas laranjas), que por sua vez formam a média do conjunto (linha vermelha), que é comparado com a linha de real situação observada (linha preta).

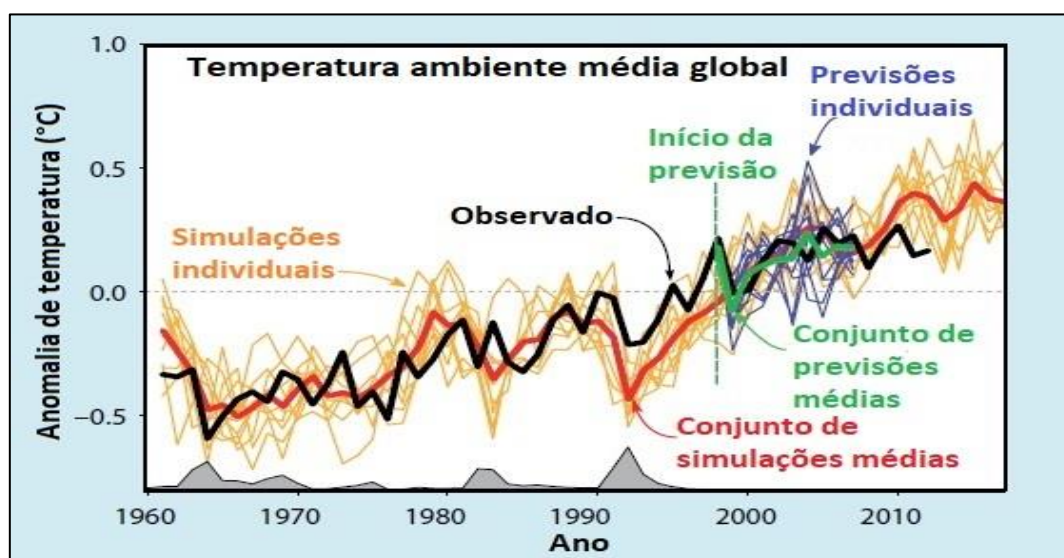


Figura 10 - Previsão de aumento de temperatura ambiente no mundo (adaptado de IPCC, 2013).

De acordo com o IPCC (2013), a Figura 11 demonstra o alcance projetado da temperatura ambiente média da superfície global do ar utilizando a abordagem ASK, pelo método RCP 4.5, o método de Smith et al. (2012), Meehl & Teng (2012) e o observado até o ano de 2012.

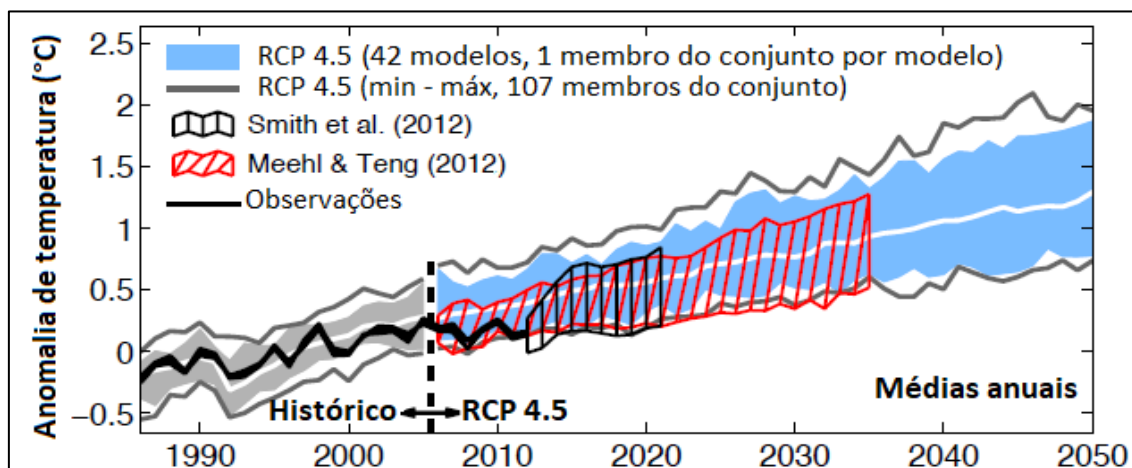


Figura 11 - Projeção de temperatura ambiente global (adaptado de IPCC, 2013).

A avaliação concentrou-se em valores médios de 20 anos para o período 2016-2035. Não há um método exclusivo para derivar um provável intervalo para valores médios anuais do intervalo de 20 anos, então tais cálculos envolvem necessariamente incertezas adicionais e menor confiança. Mesmo assim, é útil tentar estimar um intervalo para valores de média anual, que podem ser comparados com as projeções do modelo bruto (IPCC, 2013).

Por fim, o IPCC (2013) concluiu que as temperaturas ambiente média global no período de 2016-2035 poderão subir entre 0,91 °C para expectativas mais otimistas e 1,31 °C para menos otimistas.

2.5 Máquinas térmicas

Em geral, a refrigeração é definida como qualquer processo de remoção de calor. Mais especificamente, a refrigeração é definida como o ramo da ciência que lida com o processo de redução e manutenção da temperatura do espaço ou material abaixo da temperatura dos arredores (Dossat, 1961).

Assim como é dito por Stoecker & Jabardo (2002) e Arora (2006), os componentes básicos de uma máquina térmica são: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. Os fluidos mais comuns são: ar, água e um fluido frigorigêneo sintético.

O calor é transferido para o fluido que está à temperatura e pressão mais baixas, proporcionando assim o calor latente para torná-lo em estado de vapor dentro do evaporador. O vapor é então mecanicamente comprimido pelo compressor para uma pressão mais alta e uma temperatura de saturação correspondente no qual seu calor latente pode ser rejeitado de modo que ele mude de volta para um líquido no condensador. O ciclo é mostrado na Figura 12. O efeito de resfriamento é o calor transferido para o fluido de trabalho no processo de evaporação, isto é, a mudança de entalpia entre o fluxo entrando e o vapor saindo do evaporador (Hundy *et al.*, 2016).

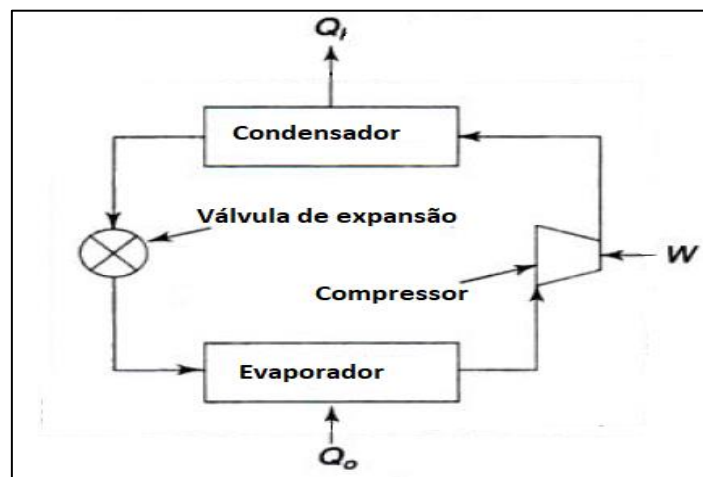


Figura 12 - Ciclo básico de compressão de vapor (adaptado de Hundy *et al.*, 2016).

As próximas secções irão tratar sobre o condensador a ar e o condensador a água, que são os tipos de condensadores existentes nos equipamentos da central térmica do edifício.

2.5.1 Condensação a ar

O condensador refrigerado a ar, consiste no fluxo de ar sobre a superfície do condensador provocando a convecção. A alta resistência térmica da camada limite no lado do ar do permutador de calor leva ao uso, exceto os condensadores de pequeno porte, de uma superfície de troca de calor maior (Hundy *et al.*, 2016).

Segundo (Hundy *et al.*, 2016), em condensadores convencionais, o permutador de calor assume a forma de alhetas de placas, geralmente de alumínio, ligadas mecanicamente aos tubos de cobre, assim como pode ser visto na Figura 13.



Figura 13 - Placas do condensador com tubos de cobre e alhetas de alumínio (Hundy *et al.*, 2016).

2.5.2 Condensação a água

Segundo Hundy *et al.* (2016), a maior capacidade calorífica e a densidade da água tornam o meio ideal para o arrefecimento do fluido no condensador. Tem-se um ganho de eficiência no permutador de calor, se possuir na superfície da tubulação uma maior área de contato, geralmente sob a forma de pequenas barbatanas integradas formadas nos tubos. Dentro do condensador, podem ser montadas repartições para promover a turbulência da água, mas estas interferem na manutenção de limpeza e não são muito favoráveis.

A Figura 14 é um exemplo de condensador a água.



Figura 14 - Exemplo de condensador a água (Hundy *et al.*, 2016).

2.5.3 Relação entre condensador a ar e água

As características típicas dos condensadores resfriados a ar e a água são mostradas nas Figura 15 e Figura 16. A Figura 15 (a) mostra a capacidade frigorífica de um determinado condensador quando integrado num sistema frigorífico, em função da temperatura de condensação e da temperatura de entrada do ar de resfriamento do condensador. Na Figura 15 (b) tem-se a capacidade de rejeição de calor por metro quadrado de área de face em função da diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura de entrada do ar no condensador, para diferentes velocidades de face (Eletrobrás, 2005).

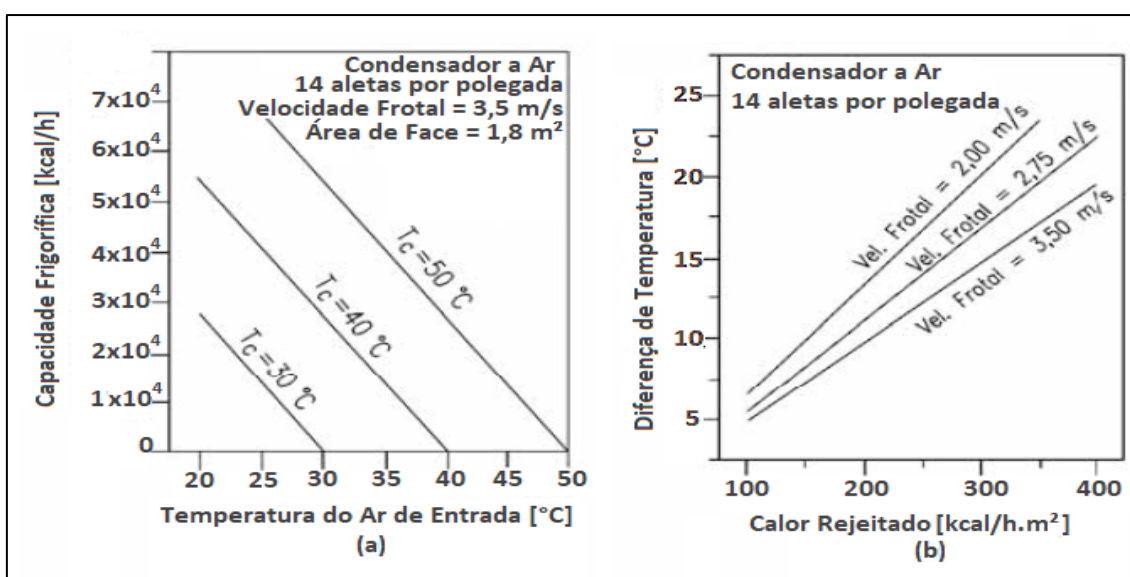


Figura 15 - Características típicas de condensadores arrefecidos por ar (adaptado de Eletrobrás, 2005).

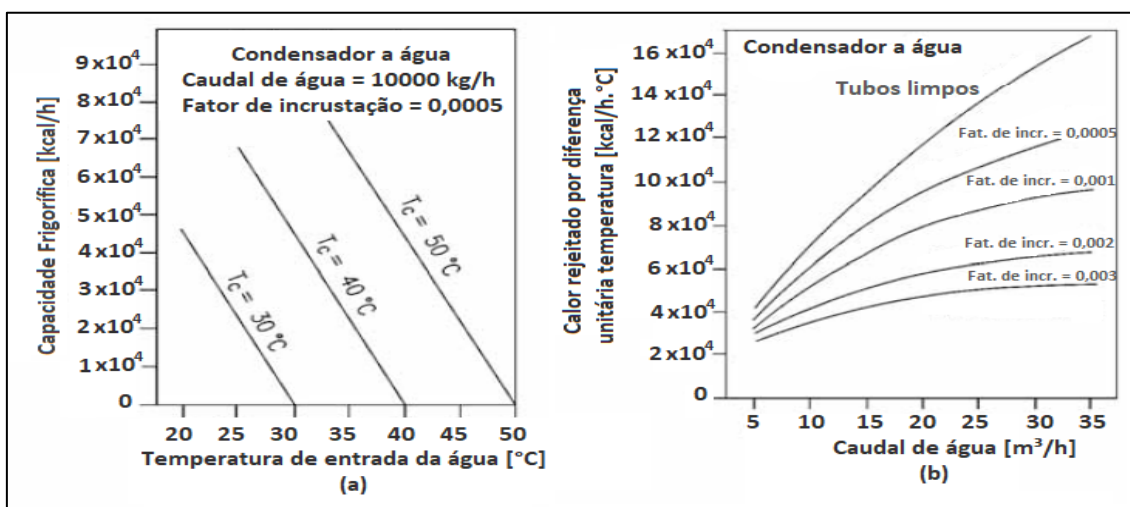


Figura 16 - Características típicas de condensadores arrefecidos por água (adaptado de Eletrobrás, 2005).

A Figura 16 (a) mostra a capacidade frigorífica de um determinado condensador a água quando operando e, um sistema frigorífico em função da temperatura de condensação e da temperatura de entrada da água no condensador. Na Figura 16 (b), tem-se o calor rejeitado por diferença unitária de temperatura em função da vazão de água de condensação, para diferentes fatores de incrustação. Como visto, à medida que aumenta o fator de incrustação a capacidade de rejeição de calor do condensador diminui (Eletrobrás, 2005).

Os condensadores refrigerados a água são mais eficientes do que os condensadores refrigerados a ar e podem operar com temperaturas de condensação muito mais baixas. Como a água tem um calor e uma densidade especificamente mais elevados do que o ar, os condensadores refrigerados a água são mais eficientes do que os condensadores refrigerados a ar (Whitman *et al.*, 2013) (Eletrobrás, 2005).

2.6 Torres de arrefecimento

Uma torre de arrefecimento é um dispositivo que usa uma combinação de transferência de calor para água. A água a ser arrefecida é distribuída na torre através da pulverização, de uma forma que expõe uma superfície de água muito grande para o ar atmosférico (Kröger, 2004).

A circulação de ar pode ser natural ou forçada, realizada por ventiladores. Uma porção da água é evaporada porque o teor de humidade do ar é inferior ao correspondente teor do ar saturado. Uma vez que este processo de evaporação requer energia para mudar a água do líquido para o vapor, a água é arrefecida (Kröger, 2004).

Segundo Wang (2000) e FEMP (2011), os sistemas de água também podem ser classificados de acordo com suas características operacionais, como sendo um sistema aberto ou fechado. Um exemplo de um sistema fechado é a Figura 17 e de um sistema aberto é a Figura 18.

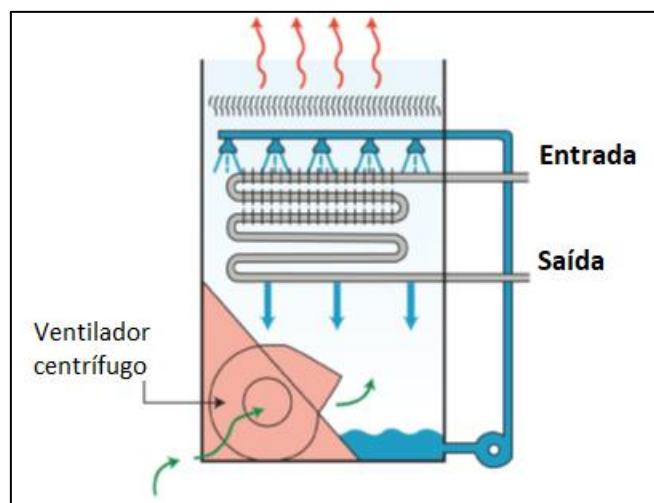


Figura 17 - Desenho esquemático de um sistema fechado de torre de arrefecimento (adaptado de FEMP, 2011).

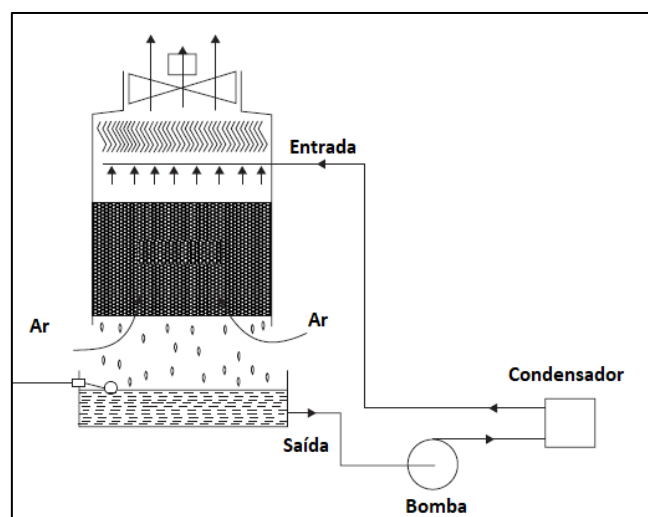


Figura 18 - Desenho esquemático de um sistema aberto de torre de arrefecimento (adaptado de Hundy *et al.*, 2016).

Uma consideração importante para a operação do sistema de torre de arrefecimento é a qualidade da fonte da água. As fontes de água de superfície incluem lagos, rios e córregos, enquanto águas subterrâneas consistem em poços ou aquíferos. Dependendo da localização, as águas superficiais terão variações sazonais e podem carregar altos níveis de suspensão lixo e detritos que causam incrustações se não removidos por sistemas de pré-filtração. As fontes de águas subterrâneas não têm as variações sazonais que águas superficiais têm, mas dependendo da geologia da região, podem ter alto níveis de minerais dissolvidos que contribuem para formar corrosão no sistema de arrefecimento (FEMP, 2011).

Recentemente, reutilização de água tornou-se popular e muitos sistemas de climatização estão sendo fornecidos com recuperadores de água de descarga de outros processos. Enquanto a reutilização é um recurso, a consideração deve ser feita sobre a qualidade da água e como isso afetará a eficiente operação do sistema de climatização e a capacidade do sistema de atender às exigências de demanda de arrefecimento (FEMP, 2011).

2.6.1 Controlo de qualidade da água

Em todos os equipamentos de refrigeração operando em modo evaporativo, o arrefecimento é realizado evaporando uma pequena porção da água de recirculação à medida que flui através do equipamento. Quando esta água se evapora, as impurezas originalmente presente na água permanecem. A menos que uma pequena quantidade de água seja drenada do sistema, a concentração de sólidos dissolvidos aumentará rapidamente e levará à formação de escamas, corrosão ou a ambos (FEMP, 2011).

Durante o normal funcionamento das torres de arrefecimento, devido à evaporação, a concentração de sais aumenta. Quando essa concentração supera o ponto de solubilidade ocorre a formação de crostas. Para combater esse problema utilizam-se anti incrustantes e ainda se fazem purgas de modo a manter os níveis de solubilidade dentro do limite recomendado (Pereira, 2009).

O anti incrustante é o responsável por inibir a incrustação e a corrosão. É um produto muito importante para o sistema, pois as incrustações podem diminuir o diâmetro útil nas tubulações e acarretar a perda de eficiência ao longo do tempo, sem contar a corrosão que ao ser promovida, pode diminuir a vida útil de todo o equipamento (Pereira, 2009).

Segundo Pereira (2009), os biocidas fazem o controlo de bactérias, fungos e algas. A presença destes microrganismos pode provocar o aparecimento de depósitos biológicos que conduzem a uma forte corrosão e consequente perda de eficácia na permuta de calor. É eficiente no combate às bactérias como a *legionella*. É um produto que está na forma pura a ser acrescentado na circulação de água.

Já o hipoclorito de sódio é utilizado como agente desinfetante e germicida, promovendo a eliminação ou o controlo de microrganismos (Pimenta, 2014).

2.7 Compressores

O compressor é um dos principais componentes do sistema de refrigeração. Sua função é aumentar a pressão do fluido frigorigéneo e promover a circulação desse fluido no sistema. Os principais tipos de compressores são: alternativo, centrífugo, de parafusos, palhetas e *scroll* (Eletrobrás, 2005).

De acordo com as características do processo de compressão, os compressores utilizados em refrigeração podem ser classificados como: máquinas de deslocamento positivo ou máquinas de fluxo. O compressor de deslocamento positivo aumenta a pressão do vapor de fluido frigorigéneo pela redução do volume interno de uma câmara de compressão por meio de uma força aplicada. Os compressores alternativos, de parafuso, de palhetas e *scroll* são de deslocamento positivo. O único compressor classificado como máquina de fluxo em sistemas de refrigeração é o centrífugo. Nesse tipo de compressor o aumento da pressão se deve, principalmente, à conversão de pressão dinâmica em pressão estática (Eletrobrás, 2005).

Nas secções a seguir, será explicado sobre o modelo de compressor parafuso e centrífugo magnético, que são os modelos de estudo.

2.7.1 Compressor parafuso

Segundo a Eletrobrás (2005), os principais tipos de compressores parafuso são os de parafuso duplo e simples.

Compressores de parafuso utilizam rotores helicoidais de acoplamentos duplos com lóbulos "macho" e "fêmea" dentro de uma carcaça estacionária. A compressão é obtida diretamente na redução de volume através do movimento rotativo (Figura 19). À medida que os rotores começam a girar, um vazio é criado nos lados macho e fêmea, permitindo que o fluido frigorigéneo flua para o compressor. Num ponto determinado pela relação de volume de projeto, a porta de descarga abre e o fluido é liberado para o condensador (Stanford, 2012).

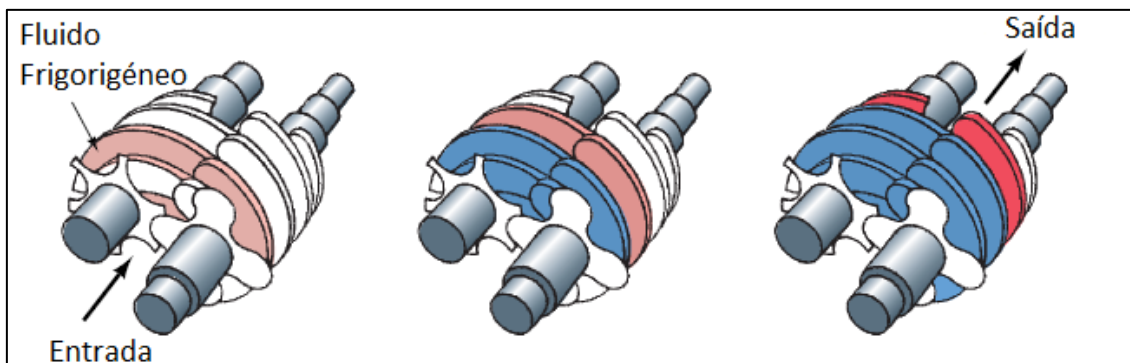


Figura 19 - Compressão do fluido refrigerante através do compressor parafuso (adaptado de Whitman *et al.*, 2013).

O controle de capacidade dos compressores de parafuso normalmente é realizado abrindo e fechando uma válvula deslizante na sucção do compressor. O controle de velocidade variável também pode ser usado para controle da capacidade do compressor (Stanford, 2012).

2.7.2 Compressor centrífugo magnético

Os compressores centrífugos magnéticos (Figura 20) são totalmente livres de óleo e possuem rolamentos magnéticos (Engie, 2016).

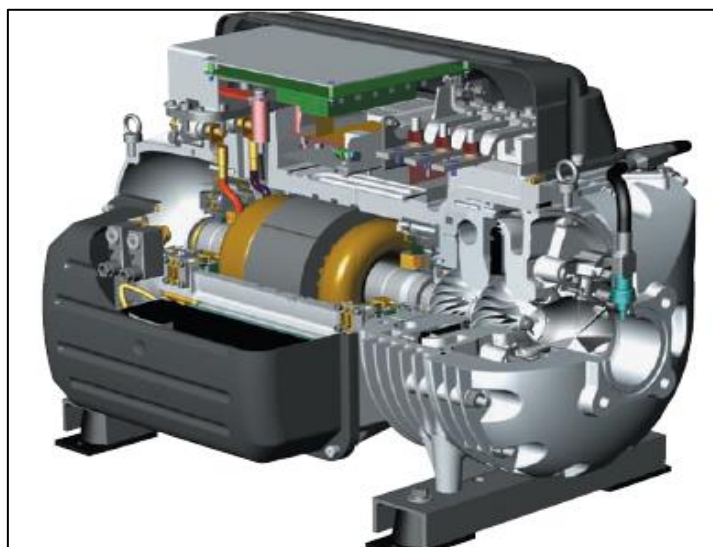


Figura 20 - Compressor centrífugo magnético (Whitman *et al.*, 2013).

Segundo Whitman *et al.* (2013), os rolamentos magnéticos e os sensores de rolamento são compostos por dois ímans permanentes e eletroímans. Eles controlam precisamente a rotação do eixo do compressor sem atrito numa almofada magnética levitada, assim como apresentado na Figura 21.

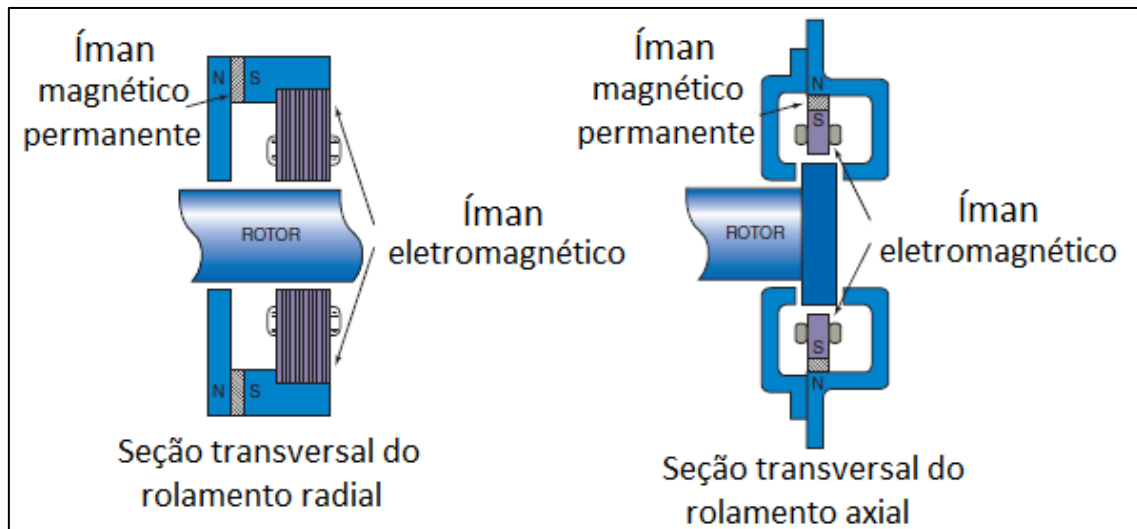


Figura 21 - Eixo com levitação magnética (adaptado de Whitman *et al.*, 2013).

O compressor centrífugo aumenta a pressão do fluido aumentando sua energia cinética. Essa energia cinética é então convertida em pressão estática quando o fluido frigorigêneo sai do compressor. O compressor e o motor são vedados dentro de uma única carcaça e o fluido frigorigêneo é utilizado para arrefecer os enrolamentos do motor durante a operação (Stanford, 2012).

DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização do edifício

3.2 Histórico de dados

3.3 Estudo energético da central térmica

3.4 Análise económica de investimento

3.5 Utilização da água

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização do edifício

O edifício comercial do caso de estudo é composto por 210 lojas e espaços comuns, totalizando uma área de 64 000 m². Possui uma central térmica de geração de água arrefecida, uma central térmica de geração de água quente e a GTC (gestão técnica centralizada) que faz todo o controlo técnico do sistema.

No presente trabalho, o estudo é direcionado a central térmica de geração de água arrefecida, onde em agosto de 2017 foi instalado um novo equipamento de arrefecimento de água com condensação a água. O novo modelo possui compressores magnéticos centrífugos para a compressão, um economizador, evaporador, condensador, válvula de expansão e uma torre de arrefecimento.

Nas próximas secções, serão caracterizados os equipamentos que compõe a central, todos os componentes do sistema e os circuitos de água do edifício.

3.1.1 Central térmica de arrefecimento de água

A central térmica antes do investimento do novo equipamento era constituída por 4 grupos de equipamentos de arrefecimento de água com condensação a ar, Figura 22 (b), que no geral, possuíam uma potência total de 6384 kW. Após instalação do novo equipamento de potência 2250 kW, Figura 22 (a), a central térmica passou a ter uma potência total de 8634 kW. Essa potência foi calculada através da equação (1) que inclui a potência dos evaporadores de cada equipamento, onde as potências dos evaporadores do sistema antigo tinham uma potência total de 798 kW, sendo 8 no total. Já o evaporador do novo equipamento instalado possui 2250 kW.

$$P_{ct} = 8 * P_{e1} + P_{e2} \quad (1)$$

Onde:

- P_{ct} – Potência total da central térmica atual [kW];
- P_{e1} – Potência do evaporador dos equipamentos antigos [kW];
- P_{e2} – Potência do evaporador do novo equipamento [kW].

Na Figura 22, é apresentado um desenho esquemático de todo o sistema de arrefecimento de água presente no edifício.

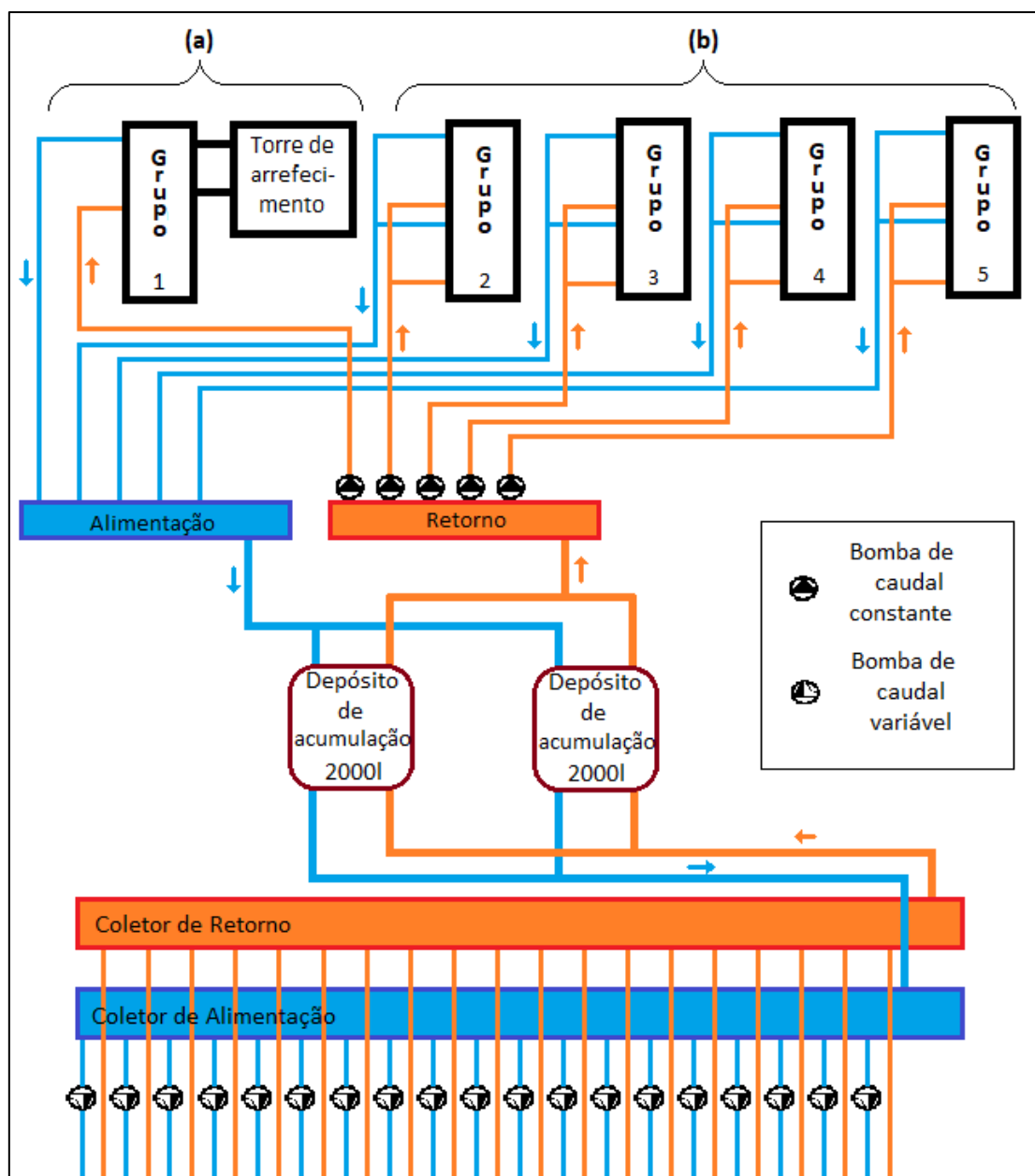


Figura 22 - Desenho esquemático do sistema de geração de água arrefecida. (a) novo equipamento instalado na central térmica; (b) central térmica antiga.

3.1.1.1 Equipamento de arrefecimento de água com condensação a ar

Os grupos de arrefecimento de água com condensação a ar, incluem um total de oito equipamentos, sendo que cada equipamento tem 2 compressores com seus respectivos

circuitos de refrigeração, porém com um evaporador em comum. A Figura 23 demonstra o desenho esquemático.

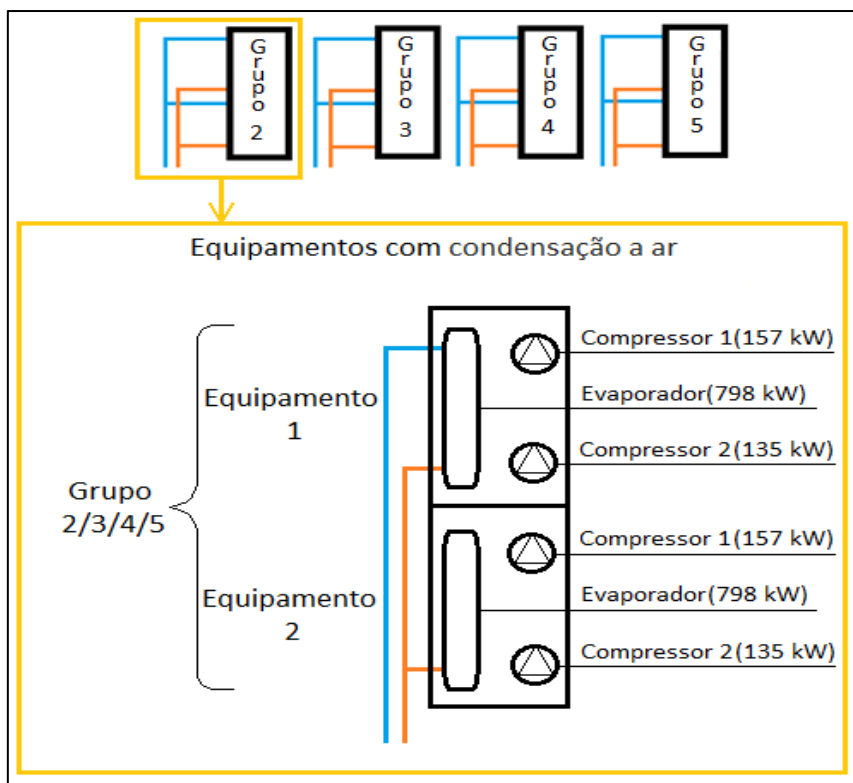


Figura 23 - Desenho esquemático do equipamento de arrefecimento de água com condensação a ar.

Cada circuito de refrigeração do compressor tem um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador em comum para cada circuito. A Figura 24 demonstra o equipamento no edifício.



Figura 24 - Equipamento de arrefecimento de água com condensação a ar.

Cada conjunto de circuito de refrigeração possui 2 compressores que se diferem pela sua potência, sendo um de 157 kW e o outro de 135 kW.

Os compressores (Figura 25) são do tipo parafuso semi-hermético. Podem operar a capacidade total ou parcial com 4 etapas (mínimo-50-75 e 100 % de capacidade).

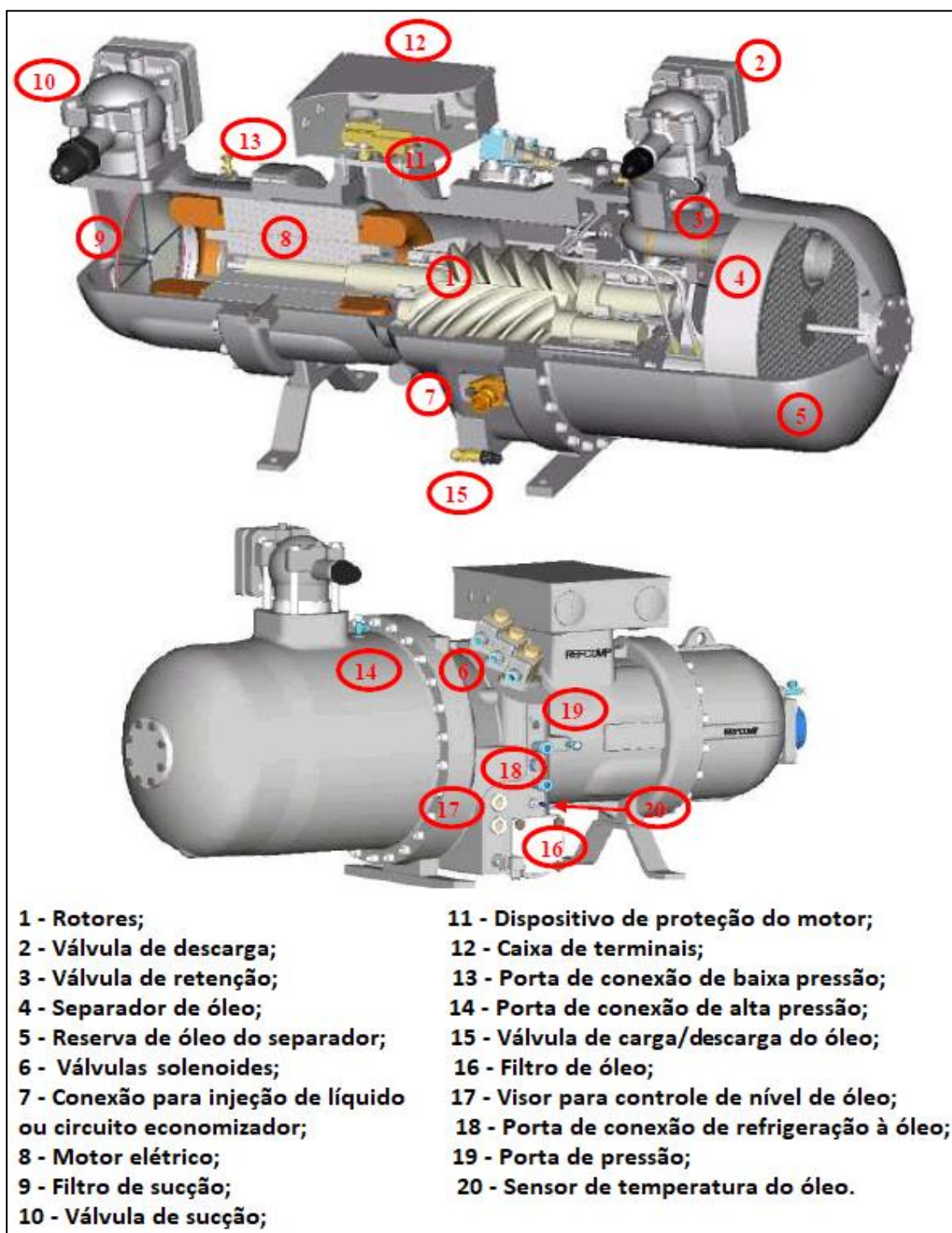


Figura 25 - Desenho esquemático do compressor a parafuso (adaptado de REFCOMP, 2007).

O condensador (Figura 26) é feito com tubos de cobre dispostos em linhas e mecanicamente expansíveis dentro de um pacote de lâminas de alumínio. O arrefecimento dos tubos é feito pela passagem forçada do ar que é succionado pelos ventiladores.

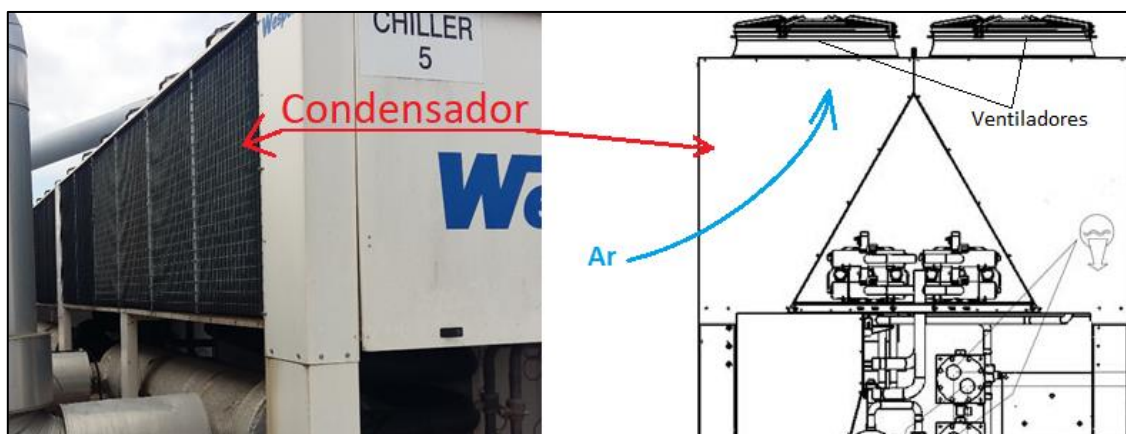


Figura 26 - Condensador (adaptado de Wesper, 2008).

3.1.1.2 Equipamento de arrefecimento de água com condensação a água

O equipamento de arrefecimento de água de condensação a água (Figura 27) contém: 4 compressores em paralelo, 1 condensador, 1 economizador, 3 válvulas de expansão e 1 evaporador.



Figura 27 - Equipamento de arrefecimento de água com condensação a água.

O desenho esquemático do circuito de refrigeração do equipamento de arrefecimento de água com condensação a água, está representado na Figura 28.

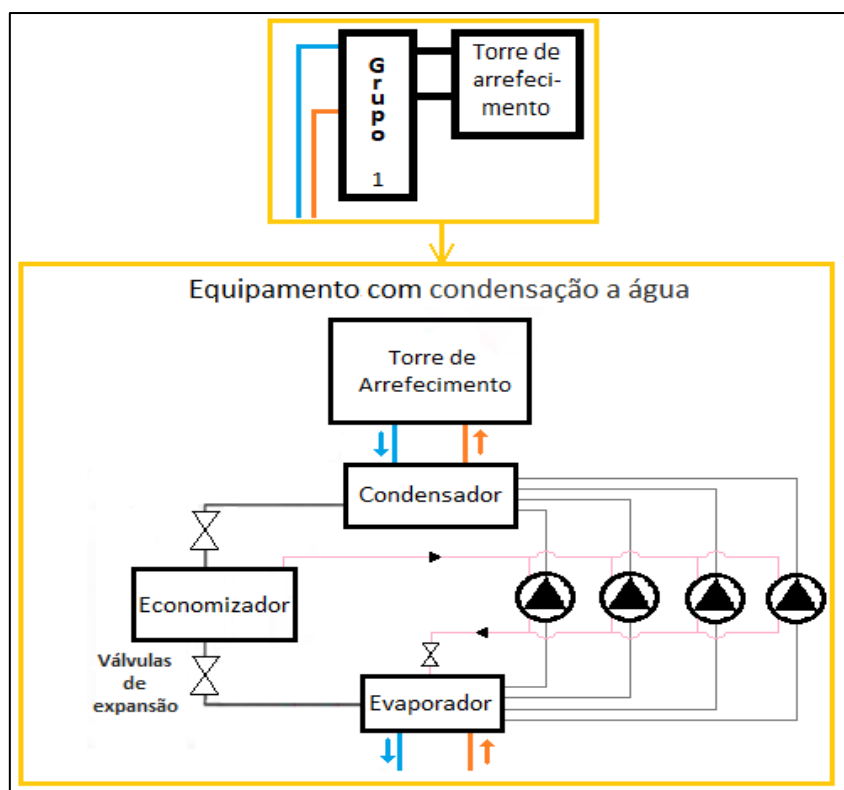


Figura 28 - Desenho esquemático do circuito de refrigeração.

Os compressores são de modelo magnético centrífugo, conforme demonstrado na Figura 20 na secção 2.7.2.

No condensador, representado na Figura 29, o fluido é refrigerado pela água que circula na torre de arrefecimento. A potência máxima do condensador na sua maior eficiência é de 2669 kW com um caudal de água de 462 m³/h de entrada a 30 °C e saída 35 °C.



Figura 29 - Condensador a água.

Esse sistema é dotado de um economizador que tem a função de receber o fluido frigorigêneo saturado, após passar por uma válvula de expansão, de forma a enviar o vapor para realizar o arrefecimento do compressor e o líquido passa novamente por uma válvula de expansão que é direcionado para o evaporador. Com isso, gera uma maior eficiência para o sistema (Figura 30).



Figura 30 - Economizador.

A torre de arrefecimento (Figura 31), possui uma potência de 1335 kW com as condições de temperatura de bolbo húmido à 22 °C e um caudal de água no permutador de calor de 230 m³/h.

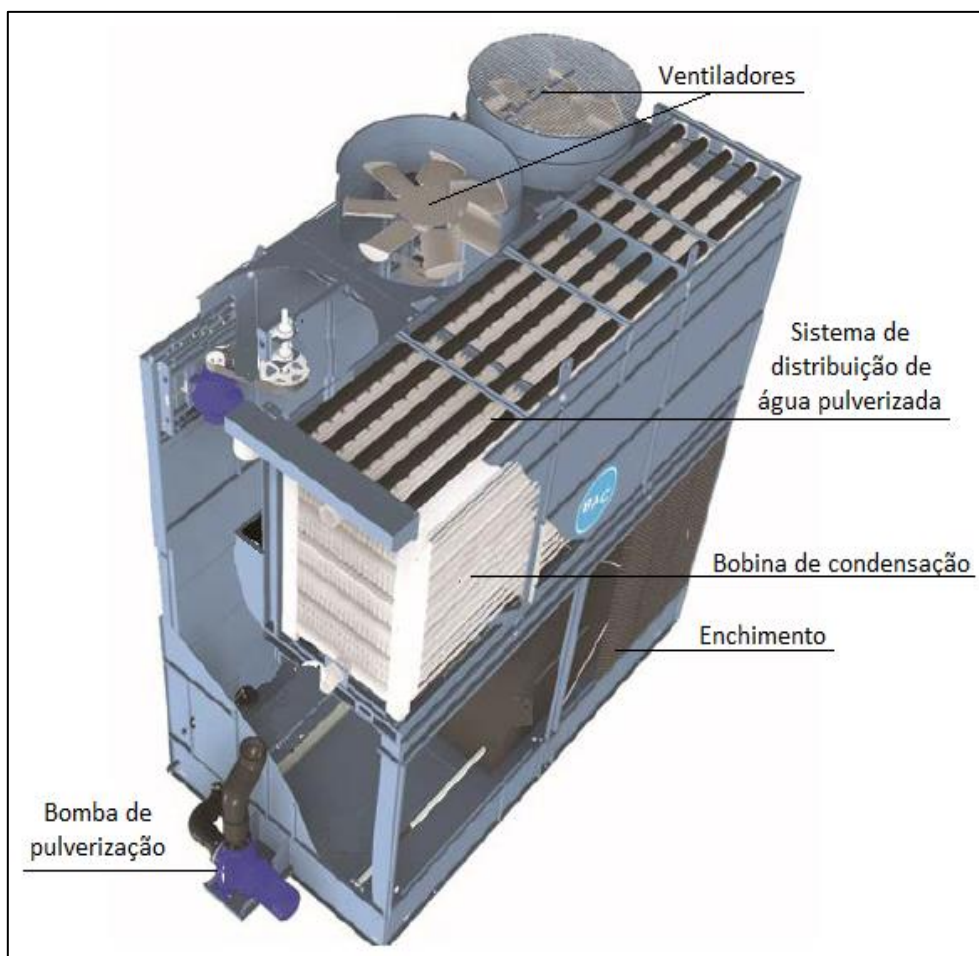


Figura 31 - Torre de arrefecimento (adaptado de BAC, 2017).

As impurezas presentes na água de reposição e as impurezas do ar são transportadas no equipamento e entram na circulação. Por isso necessita de um programa de tratamento de água projetado especificamente para atender a escala, corrosão e o controlo do sistema. Além disso, há um programa de manutenção no local para garantir que o sistema de tratamento de água mantenha a qualidade da água dentro das diretrizes de controlo. Toda a água utilizada na torre é captada de um poço de 120 m de profundidade.

No sistema da torre é utilizado um controlo de qualidade da água com alguns produtos como: anti incrustante, biocida orgânico e hipoclorito de sódio. Na Figura 32, apresenta-se o circuito de tratamento de água da torre.

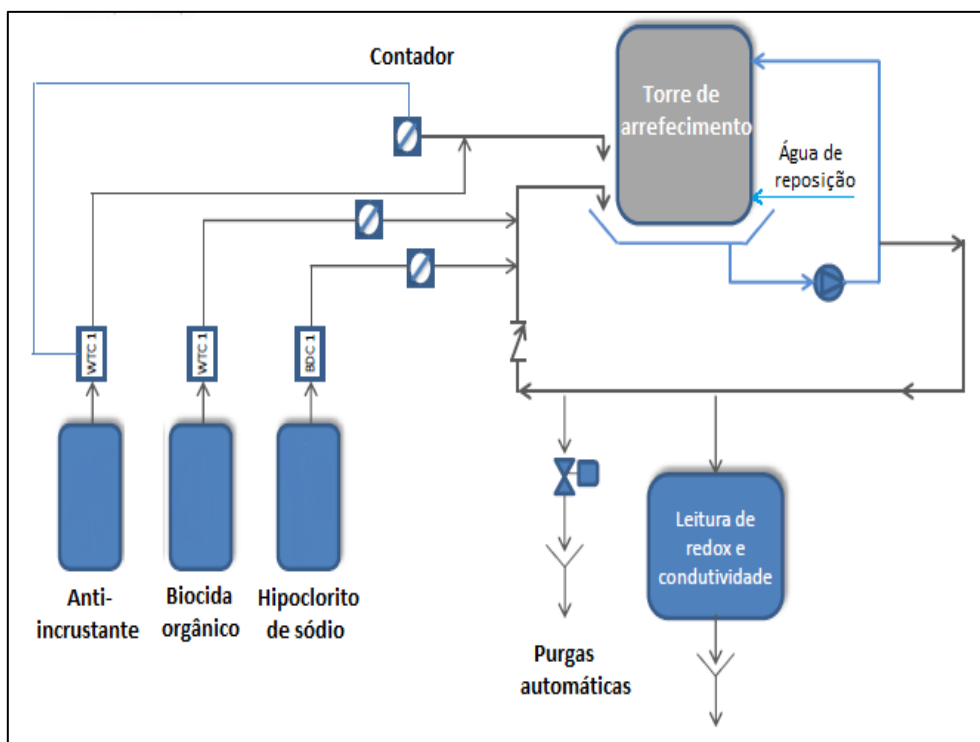


Figura 32 - Circuito de tratamento de água (adaptado de Aqua service, 2017).

3.1.2 Circuito de distribuição de água

O circuito de alimentação do edifício é dotado de tubulações revestidas com material isolante e faz toda a ligação da central de refrigeração de água com as bombas de alimentação do edifício.

Nesse circuito, há tubulações de diâmetro nominal de 80 mm com caudal de 29 m³/h até tubulações de 400 mm com um caudal de água de 1106 m³/h, que são caudais de projeto. Portanto a seguir será falado das tubulações sobre seus diâmetros nominais e seus respectivos caudais de projeto.

O primeiro grupo de tubulações que interliga a central térmica aos primeiros tanques, de alimentação e retorno, tem um diâmetro nominal de 200 mm, sendo que o equipamento do grupo 1 tem um caudal constante de 386 m³/h e os demais com 276 m³/h, como podemos ver no esquema da Figura 33.

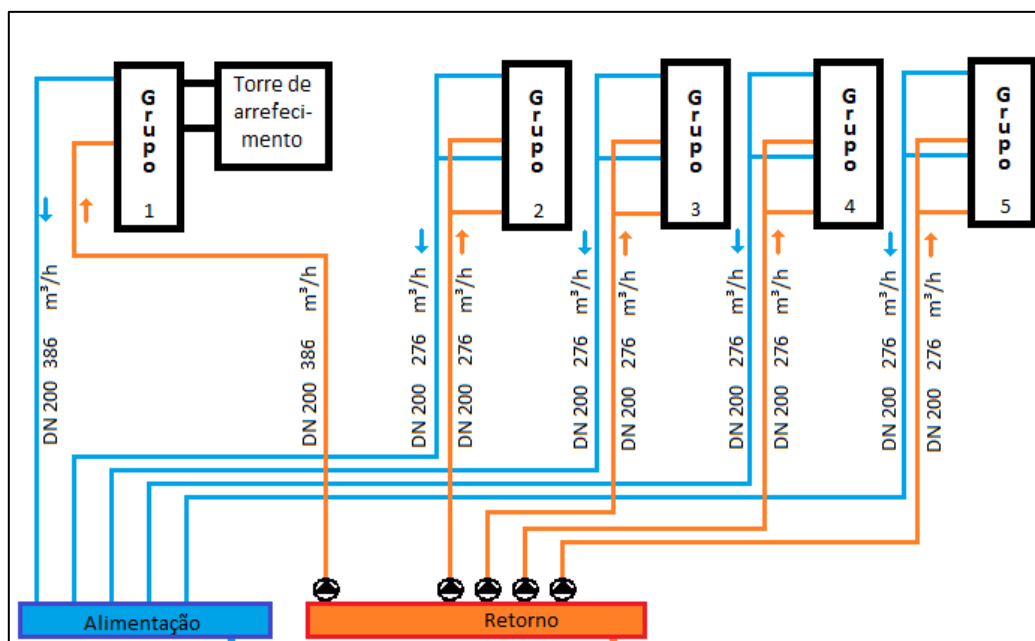


Figura 33 - Diâmetro e caudal do primeiro grupo de tubulações.

O segundo grupo de tubulações que estão entre os tanques de alimentação e retorno e os coletores são de diâmetro nominal de 400 mm e um caudal constante de 1106 m³/h, como está descrito na Figura 34.

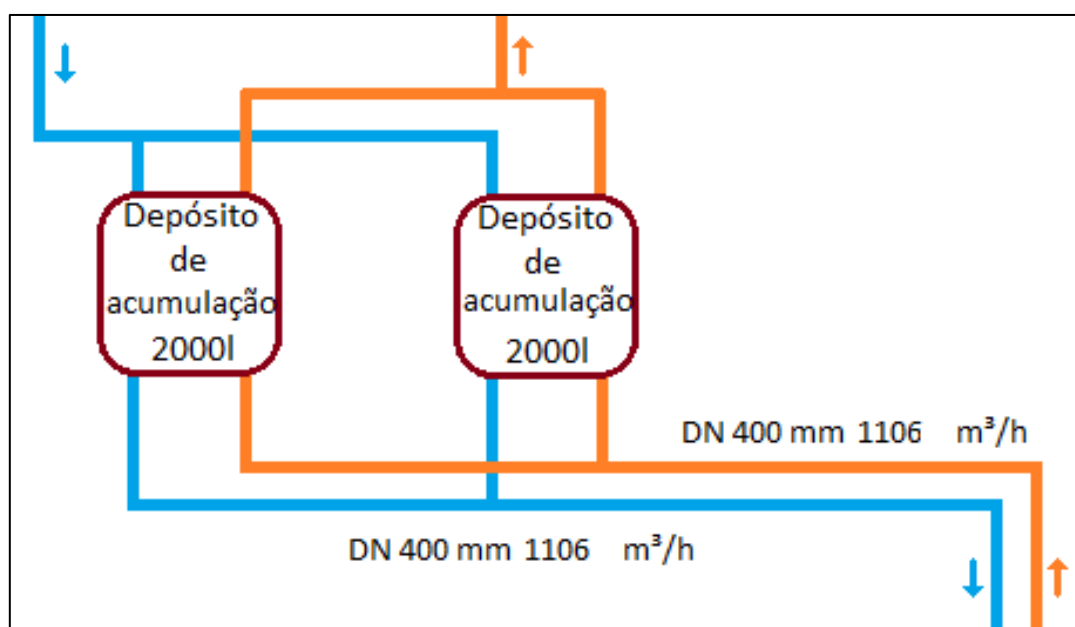


Figura 34 - Diâmetro e caudal do segundo grupo de tubulações.

O terceiro grupo de tubulações que interliga os coletores de retorno e os de alimentação, são as tubulações que levam a água arrefecida para todos os equipamentos de climatização do edifício comercial, por isso existe uma distribuição para 19 pontos o que origina diferentes diâmetros e caudais.

As bombas de distribuição são de caudais variáveis, por isso o seu controlo é automático, variando o caudal de acordo com a necessidade do circuito.

A Figura 35 demonstra as tubulações com os 19 pontos de distribuição, sendo cada um dos pontos com caudais diferentes.

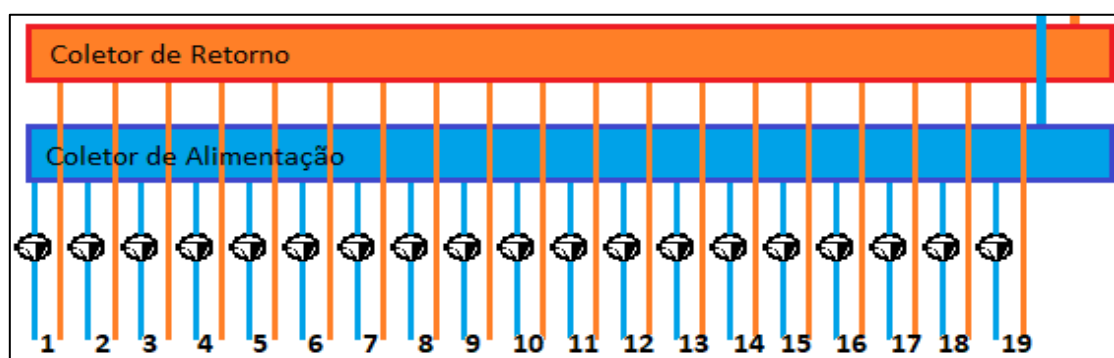


Figura 35 - Numeração das tubulações de ida e retorno de cada circuito de climatização.

3.2 Histórico de dados

Neste tópico são apresentados os dados coletados da central térmica antes e depois da implantação do novo equipamento. São informações históricas fornecidas pela GTC (Gestão Técnica Centralizada) que possui as temperaturas ambiente diárias e o consumo energético mensal da central térmica do ano de 2009 até 2017.

Existem 5 sensores de temperatura ambiente que estão juntos dos equipamentos de arrefecimento de água da central térmica que fornecem informações de temperatura ambiente exterior hora a hora para a GTC. Foram reunidos os dados de temperatura ambiente de 2009 a 2017 recolhidos desse banco de dados e transformados em média mensal, gerando um valor para cada mês do ano, conforme Tabela 1. Somente os valores em cinza foram coletados da fonte de dados meteorológicos do ISEP, pois são dados que não foram fornecidos por não terem no banco de dados.

Tabela 1 – Temperatura ambiente média mensal 2009 – 2017.

Temperatura ambiente média mensal (°C)									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	10,6	11,2	11,8	9,4	11,3	10,4	8,1	12,1	10,0
Fevereiro	11,8	11,5	12,1	9,6	10,2	10,0	9,0	11,0	12,4
Março	15,4	13,4	14,5	14,6	12,9	12,4	12,1	11,2	13,3
Abril	14,5	18,0	19,9	13,6	14,7	15,4	16,4	13,2	16,4
Maió	19,9	19,2	21,7	16,8	15,7	16,7	18,0	15,7	18,1
Junho	22,2	21,5	21,6	19,1	20,6	20,2	20,8	19,0	19,8
Julho	21,8	24,2	20,2	19,5	22,8	20,9	20,8	22,3	20,3
Agosto	22,4	23,8	19,9	21,3	21,5	20,5	20,2	21,7	20,5
Setembro	21,3	21,5	19,3	21,7	20,3	20,9	18,1	19,3	17,9
Outubro	20,3	17,5	18,8	16,9	17,3	19,0	17,5	17,4	18,7
Novembro	15,2	13,1	13,4	12,3	11,5	13,1	14,5	13,1	13,5
Dezembro	11,6	11,2	10,8	11,9	9,5	9,0	13,8	11,9	11,1

As temperaturas ambiente médias mensais retiradas do ISEP, justificam-se a serem utilizadas pelo facto do edifício estar dentro de um raio de 8 km de distância, não possuindo diferenças consideráveis para o estudo. Também foi feito uma comparação entre as temperaturas do local de estudo com o ISEP que obteve um valor máximo de 0,7 °C de diferença.

Através desses dados, foram feitas as combinações de temperatura ambiente externa e consumo de energia elétrica de cada mês e colocado num gráfico referente ao sistema antigo Figura 22 (b) e um referente ao sistema novo Figura 22 ((a)+(b)), onde foi gerado uma linha de tendência para cada um, conforme a Figura 36 e Figura 37.

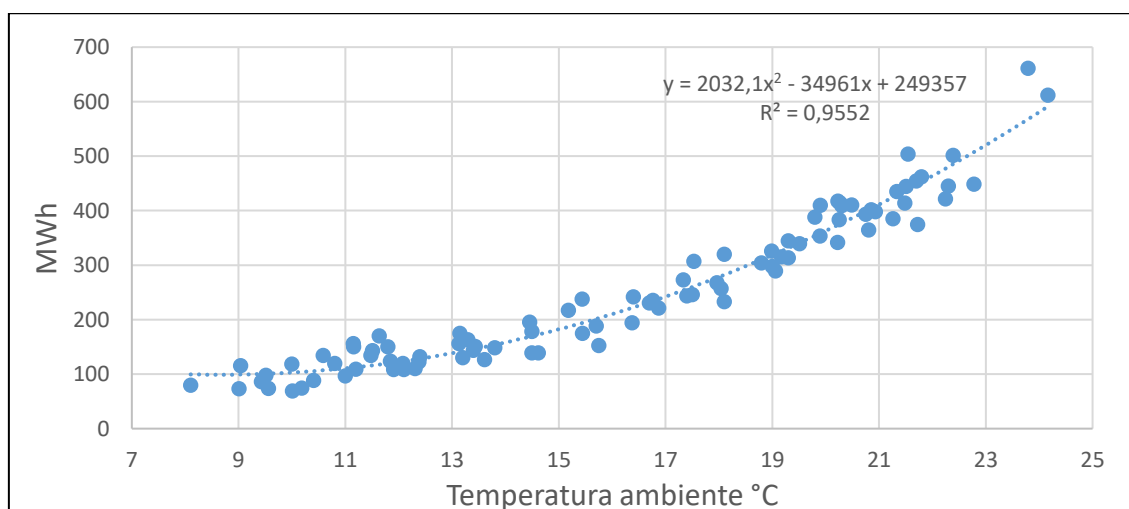


Figura 36 - Consumo de energia elétrica por temperatura ambiente do exterior do sistema antigo.

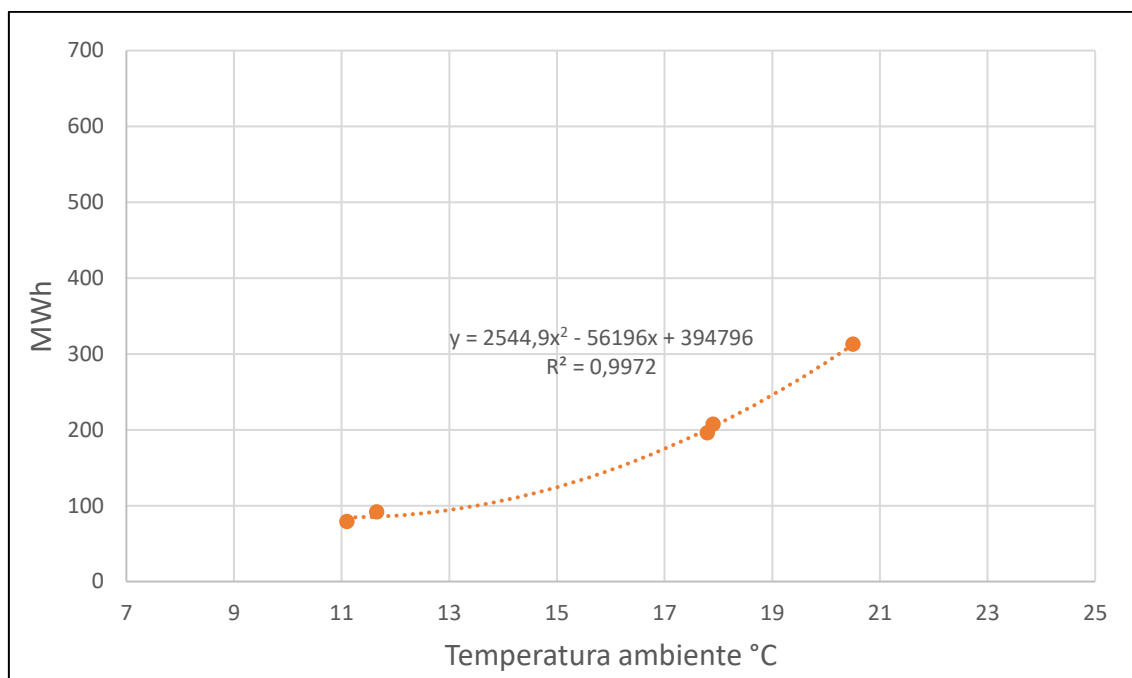


Figura 37 - Consumo de energia elétrica por temperatura ambiente do exterior do sistema novo.

Os respectivos valores do coeficiente de determinação em ambos os casos tendem a 1 ($R^2 = 0,9552$ e $R^2 = 0,9972$), que demonstra não apenas a qualidade da correlação, mas também um alto grau de conexão entre as variáveis envolvidas perante a correlação.

A correlação se justifica pelo facto de que a variável temperatura ambiente externa se relaciona diretamente com o consumo de energia elétrica da central térmica. Apesar de ter outros fatores como a envolvente interior e a carga térmica do edifício, são fatores que não se alteram de forma a causarem uma grande diferença no consumo, pois são fatores que são considerados quase que constantes o ano todo. A prova disso são os próprios gráficos gerados onde percebe-se que a maioria dos pontos possuem uma defasagem da linha de tendência.

3.3 Estudo energético da central térmica

Por meio dos dados coletados foi possível fazer uma comparação da linha de tendência do consumo de energia elétrica pela temperatura ambiente externa, em relação ao antigo e ao novo sistema, calculou-se a energia consumida pela captação de água do poço, previu-se a poupança de energia elétrica e a emissão de CO_2 na atmosfera, sendo considerado um tempo de vida do novo equipamento de 20 anos, de acordo com ASHRAE (2007), que serão verificados nas próximas secções.

3.3.1 Relação das linhas de tendência de consumo

A comparação das linhas de tendência foi colocada num gráfico onde se pode notar as diferenças de consumo em relação a temperatura ambiente do ar exterior (Figura 38).

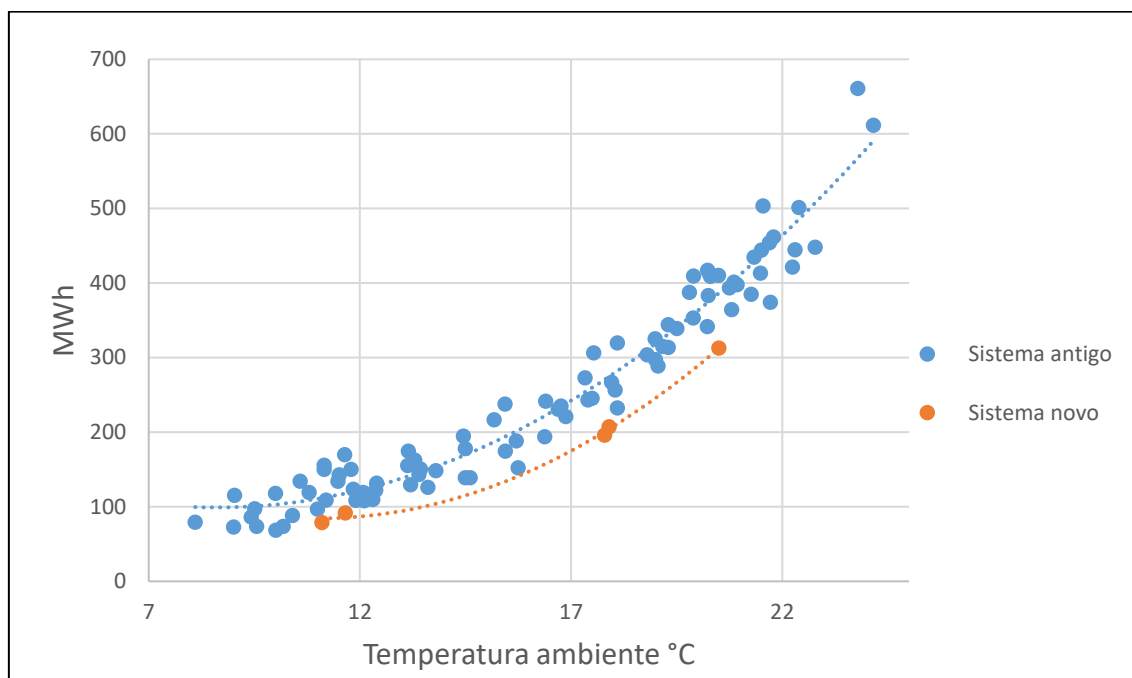


Figura 38 - Comparação das linhas de tendência que indica o consumo de energia elétrica dos dois sistemas.

O próximo passo foi obter as temperaturas futuras para a previsão do consumo, sendo que foram consideradas duas situações: uma sem o aumento de temperatura ambiente global e uma considerando o aumento de temperatura ambiente global. Os valores de temperaturas referentes para cálculo foram gerados pelo aplicativo do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

Com a aplicação CLIMAS-SCE, pode selecionar o município do interesse, especificar a altitude de um certo lugar, e obter as estatísticas climatológicas e o Ano Meteorológico de Referência para executar simulações dinâmicas de sistemas e edifícios. Os dados vêm corrigidos com a altitude do lugar (LNEG, 2017).

Foi adicionado a cada ano o valor do aumento de temperatura médio de 0,0555 °C/ano, que foi dado através do aumento estimado de 0,91 – 1,31 °C entre os anos de 2016-2035, ver secção 2.4. Portanto, foi considerado um valor médio de 1,11 °C de aumento de temperatura calculado conforme a Equação (2).

$$Atma = \frac{At}{Pe} \quad (2)$$

Onde:

- $Atma$ – Aumento de temperatura média anual [°C];
- At – Aumento de temperatura no período [°C];
- Pe – Período [anos].

Através da Equação (3), foi encontrado a temperatura média mensal com o aumento de temperatura para os anos de 2018 a 2037.

$$T_{mn} = T_{mr} + ((na - 2017) \cdot 0,0555) \quad (3)$$

Onde:

- T_{mn} – Temperatura média mensal do ar ambiente exterior [°C];
- na – Ano a calcular, sendo ele $2017 < na \leq 2037$;
- T_{mr} – Temperatura média do mês referência do ano de 2017, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de temperatura média mensal gerada pelo CLIMAS-SCE como ano de referência.

Ano 2017	Temperatura °C
Janeiro	10,27
Fevereiro	11,36
Março	13,02
Abril	14,28
Maio	16,57
Junho	19,70
Julho	21,86
Agosto	21,68
Setembro	20,30
Outubro	17,28
Novembro	13,72
Dezembro	11,62

3.3.2 Consumo de energia elétrica da captação de água do poço

Uma consequência do novo equipamento instalado foi o consumo de água que passou a existir pela utilização da torre de arrefecimento. Segundo verificações mensais de consumo de água na torre, foi observado um consumo médio diário de água de 36 m³.

Levando em consideração um sistema de captação de água do poço até a torre de arrefecimento com uma altura de 120 m, uma extensão de tubulação de 200 m, caudal médio de 3,6 m³/h e um fator de perda de carga de 0,07, encontrou-se um valor já corrigido de 3 kW de potência da bomba. Foi utilizado a Equação (4) para encontrar a potência da bomba.

$$P = \frac{75 * Q * H}{10000} \quad (4)$$

Onde:

- P – Potência [CV];
- Q – Caudal [m³/h];
- H – Altura manométrica [m], sendo que H é dado pela equação (5).

$$H = \Delta H + (Ct * Fpc) \quad (5)$$

Onde:

- ΔH – Diferença de altura [m];
- Ct – Comprimento da tubulação [m];
- Fpc – Fator de perda de carga.

Levando em consideração uma bomba com o consumo de 3 kW para retirar a água do poço e transportar para a torre, a energia média mensal consumida é de 900 kWh, levando em conta um trabalho de 10 h diárias. Anualmente é obtido um valor de 10,8 MWh.

3.3.3 Previsão do consumo de energia elétrica

Utilizando as temperaturas encontradas e o consumo de energia elétrica da captação água, foi possível gerar a previsão da redução do consumo de energia elétrica em relação as temperaturas futuras, utilizando a equação das linhas de tendência de cada situação, ver secção 3.2.

É importante saber que somente o sistema de arrefecimento de água do edifício representa uma média 30 % do consumo de energia total do edifício na estação de inverno, podendo chegar a 48 % na estação de verão.

Considerando valores sem o aumento de temperatura, por ano a redução de energia elétrica será num total de 645 MWh, que representará 22 % do consumo anual da central térmica. Esse valor é referente à mesma quantidade de energia anual consumida por 290 habitações. Foi calculado a quantidade referente de habitações através do valor médio consumido por residência em Portugal de 2228 kWh, retirado do INE (2017).

De outro modo, considerando valores com o aumento de temperatura, no ano de 2018 a redução de energia será num total de 649 MWh, que representará 24,8 % do consumo anual, chegando a 703 MWh no ano de 2037. Esse valor de 649 MWh é referente a mesma quantidade de energia anual consumida por 291 habitações, chegando a 316 habitações com o valor de 2037.

3.3.4 Previsão de emissão de CO₂

Devido a redução de energia a ser consumida nos próximos anos, também haverá uma diminuição na emissão de CO₂, que poderá ser calculada com o valor de emissão por energia elétrica consumida (381,58 g/kWh) referente ao ano de 2016, ver secção 2.1.1.

Para os cálculos sem o aumento de temperatura, haverá uma média anual de 246 toneladas de CO₂ evitados de serem emitidos à atmosfera, o que representa 22 % de redução das emissões pela energia elétrica consumida pela central térmica.

Utilizando o aumento de temperatura, haverá um valor de 248 toneladas de CO₂ evitados de serem emitidos para a atmosfera em 2018, sendo que isso representa um total de 22 % de redução de emissão. Em 2037, a percentagem de redução seria de 24,8 %, representando 263 toneladas de CO₂.

3.4 Análise económica de investimento

O valor investido em todo o conjunto foi de 500000 €. Foi adquirida a torre de arrefecimento num valor aproximado de 80000 €, o equipamento de arrefecimento de água num valor aproximado de 240000 €, bombas do circuito de transmissão de água num valor de 60000 € e toda a mão de obra e estrutura de suporte num valor de 120000 €. Com esse valor foi possível prever os lucros e analisar a viabilidade do projeto.

3.4.1 Previsões de poupança

De acordo com informações fornecidas pela administração do edifício, o custo da energia elétrica no ano de 2017 foi de 0,11 €. Utilizando um aumento de 0,8 % ao ano, média entre o valor de 0,6 % estipulado por Prado (2016) e 1 % estipulado pela EDP, foi definido valores para o preço da energia para os anos de estudo. Com isso, foi possível calcular as previsões de poupança, utilizando os dados sem o aumento de temperatura, que obteve valores de 71615 € em 2018 e chegou a 83320 € em 2037. Considerando o aumento de temperatura, foi obtido valores de 71971 € em 2018 e chegou a 90687 € em 2037, conforme a Equação (6).

$$V_p = \sum_{\text{Janeiro}}^{\text{Dezembro}} V_{pm} * V_q \quad (6)$$

Onde:

- V_p – Valor poupado por ano [€];
- V_q – Valor do kWh do ano referente [€/kWh];
- V_{pm} – Valor de energia elétrica consumida por mês [kWh], sendo que o valor poupado por mês é dado pela Equação (7).

$$V_{pm} = ((Lt2 - Lt1) - Ca) \quad (7)$$

Onde:

- Lt2 – Linha de tendência 2 ($2032,1x^2 - 34961x + 249357$, em que x é a temperatura média mensal do mês a calcular) [kWh];
- Lt1 – Linha de tendência 1 ($2544,9x^2 - 56196x + 394796$, em que x é a temperatura média mensal do mês a calcular) [kWh];
- Ca – Consumo de energia elétrica pela captação da água [kWh];

3.4.2 Estimativa do tempo de retorno do investimento

Como foi dito anteriormente, o valor investido no novo equipamento foi de 500000 €. Com o valor investido e o valor da economia do novo sistema, pode-se calcular o tempo de retorno, que indica o número de anos necessários para que o fluxo de benefícios supere o capital investido, fazendo a divisão do valor de investimento inicial pela somatória de lucro, obtendo a quantidade de anos necessária para a reposição do dinheiro, como esta descrito na Equação (8).

$$TR = \frac{Io}{R} \quad (8)$$

Onde:

- TR – Tempo de retorno [anos];
- Io – Investimento inicial [€];
- R – Resultado médio do fluxo de caixa [€/ano].

Portanto, foi calculado o valor total economizado no período de 1 ano referente a 2017, utilizando o valor do kWh de 0,11 €, onde obteve-se 90893 €. É importante salientar que o ano de 2017 foi utilizado como base por ser o ano da instalação do novo equipamento, por isso foi utilizado os valores de economia gerados pelo ano todo.

Com o investimento de 500000 € dividido pelo valor economizado, foi encontrado um tempo de retorno de 5 anos e 6 meses.

3.4.3 Estimativa do valor atual líquido

O cálculo do VAL (Valor atual líquido) tem como objetivo avaliar a viabilidade do projeto de investimento através do cálculo do valor atual de todos os fundos de manuseio. A Equação (9) demonstra o cálculo do VAL.

$$VAL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

Onde:

- VAL – Valor atual líquido [€];
- FC – Fluxo de caixa no período [€];
- t – É o enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido (começa no período 1, quando há efetivamente o primeiro fluxo de dinheiro);
- n – Número de períodos t;
- i – Custo do capital.

Com os valores poupados por ano e o valor da taxa de inflação de 1,5 % ao ano, que foi levado em consideração como a taxa do custo do capital, segundo o Banco de Portugal (2017), foi calculado o valor do VAL, sendo que, no valor do fluxo de caixa foi colocado todo o valor de entrada e de saída, que correspondem ao lucro do ano e aos gastos com manutenções, conforme a Equação (10).

$$FC = La - Va - Ma \quad (10)$$

Onde:

- FC – Fluxo de caixa no período [€];
- La – Lucro anual [€];
- Va – Valor da água utilizada [€];
- Ma – Valor da manutenção [€].

Para o cálculo do VAL, o período utilizado foi de 20 anos, que corresponde ao tempo de vida médio do equipamento. Obteve-se um valor positivo para o VAL de 719375 € desconsiderando o aumento de temperatura. Porém, considerando o aumento de temperatura ao longo dos anos, obteve-se um valor para o VAL de 781998 €, como pode-se observar na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo do VAL.

Cálculo do VAL					
		Sem aumento de temperatura		Com aumento de temperatura	
Ano	Ano referente	Fluxo de Caixa	Valor	Fluxo de Caixa	Valor
Investimento	0	-500000 €	-500000 €	-500000 €	-500000 €
2018	1	65615 €	64645 €	65971 €	64996 €
2019	2	66187 €	64246 €	66902 €	64939 €
2020	3	66765 €	63848 €	67839 €	64875 €
2021	4	67347 €	63453 €	68782 €	64805 €
2022	5	67934 €	63060 €	69731 €	64728 €
2023	6	68525 €	62669 €	70686 €	64645 €
2024	7	69122 €	62280 €	71647 €	64556 €
2025	8	69722 €	61893 €	72614 €	64460 €
2026	9	70328 €	61509 €	73587 €	64358 €
2027	10	70939 €	61126 €	74566 €	64251 €
2028	11	71554 €	60745 €	75551 €	64138 €
2029	12	72175 €	60366 €	76542 €	64019 €
2030	13	72800 €	59989 €	77539 €	63894 €
2031	14	73431 €	59615 €	78542 €	63764 €
2032	15	74066 €	59242 €	79551 €	63629 €
2033	16	74707 €	58871 €	80566 €	63489 €
2034	17	75352 €	58502 €	81588 €	63343 €
2035	18	76003 €	58136 €	82615 €	63193 €
2036	19	76659 €	57771 €	83648 €	63038 €
2037	20	77320 €	57408 €	84687 €	62877 €
VAL			719375 €		781998 €

Com esses valores, o novo equipamento cobriu nas duas ocasiões, tanto o investimento inicial bem como a remuneração mínima se o dinheiro fosse investido, gerando ainda um capital excedente.

3.4.4 Estimativa da taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR), é a taxa de desconto que torna o valor presente líquido de um fluxo de caixa igual a zero.

Para calcular o TIR, foi utilizado a forma iterativa pela Equação (9) de cálculo do VAL. Assim, o valor do TIR para a situação sem considerar o aumento de temperatura foi de 12,5 %. Já na outra situação, o TIR foi de 13,1 %. Portanto as duas situações o investimento é rentável.

3.5 Utilização da água

Devido ao volume de 36 m³ de água consumidos na torre de arrefecimento, foi realizado o estudo de três possíveis utilizações de fontes diferentes de água para o sistema. Os tópicos seguintes descrevem a utilização da água do poço, que é o atualmente utilizado pelo edifício, da utilização da água da rede e de um projeto de captação de águas pluviais.

3.5.1 Água do poço

A água retirada do poço, assim como já foi citada antes, demanda de uma bomba para transportá-la do poço até a torre de arrefecimento. Essa energia elétrica foi calculada, e obteve-se um valor de 900 kWh/mês. Com isso, é gasto um total de 99 € por mês, considerado o valor do kWh de 0,11 €.

A desvantagem desse sistema é que a água do poço possa não ser suficiente para a utilização na torre em algum momento, devido a uma manutenção ou uma seca, devendo recorrer a água fornecida pela rede.

3.5.2 Consumo da água da rede

Podem haver momentos em que é necessário serem feitas manutenções do circuito de bombeamento do poço, assim como, a água subterrânea secar. Portanto, foi realizado os cálculos de utilização da água da rede para a torre.

Os valores pagos pela água no ano de 2017 pelo edifício em questão, estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores pagos por metro cúbico na água da rede.

Taxa de volume da água > 200 m ³	2,26 €
Taxa águas residuais	0,43 €
Taxa recurso hídrico - Água	0,02 €
Taxa recurso hídrico - Águas residuais	0,07 €

Utilizando o valor médio de 13140 m³ de água por ano, o valor pago seria de 36028 €. Além de ser um valor considerável em relação aos outros meios de utilização da água, não é energeticamente eficiente pelo facto de que a água necessita de todo um tratamento e bombeamento pelas estações de tratamento de água, o que levaria a incluir nos cálculos de modo que a energia poupada seria subtraída pela energia gasta através dessas estações.

3.5.3 Água pluvial

Correspondente a grande quantidade de água a ser utilizada para o funcionamento da torre, foi feito um estudo de implantação de um sistema de captação de água no edifício. O edifício apresenta aproximadamente 40000 m² de área de cobertura, porém devido aos custos de projeto e a utilização de espaço, o cálculo foi feito para somente 2000 m².

O projeto consiste num telhado de captação de água acima do nível do telhado comum do edifício e um tanque reservatório logo abaixo do sistema de captação, economizando num bombeamento de água que seria no mesmo nível da torre de arrefecimento.

A precipitação média anual do distrito do Porto foi retirado dos dados de meteorologia do IPMA (2017), onde o valor médio observado é de 1178 mm.

Utilizando o coeficiente de escoamento de 0,8 para edifícios com cobertura impermeável, segundo Silva (2013), calculou-se a previsão do volume de água captada, multiplicando pela precipitação média anual e pela área de captação de água, conforme a Equação (11).

$$Ac = Pr * A * Ce \quad (11)$$

Onde:

- Ac – Água captada [m³];
- Pr – Precipitação [mm];
- A – Área [m²];
- Ce – Coeficiente de escoamento.

A previsão de captação de água foi de 1885 m³, que é um valor referente a 14,4 % da utilização anual de água pela torre de arrefecimento.

Segundo o IPMA (2017), a precipitação máxima ocorrida num dia na cidade do Porto é de 41 mm, portanto seria necessário a construção de um reservatório com pelo menos um volume de 66 m³.

Levando em base o estudo feito por Silva (2013), foi utilizado a Equação (12) para encontrar o valor correspondente ao reservatório de 66 m³.

$$C = 428 \times V^{2/3} \quad (12)$$

Onde:

- C – Custo do reservatório [€];
- V – Volume do reservatório [m³].

Foi encontrado um valor de 7000 € para a construção do reservatório. Também foi considerado o valor do reservatório de primeira filtragem, que tem a função de separar os elementos sólidos da água, sistema de captação e os demais componentes, embasados em Silva (2013), que estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 - Custos dos componentes para implantação de um sistema de captação de águas pluviais.

Custo do reservatório	7000 €
Custo do reservatório de primeira filtragem	2330 €
Custo do sistema de captação	14000 €
Sistema de desinfecção UV	930 €
Filtros	5000 €
Total	29260 €

Com um valor investido de 29260 €, seria possível fazer a captação de 1885 m³ de água por ano para a utilização da torre.

Considerando um custo de bombeamento desprezível para esse sistema, seria poupado em relação ao sistema de captação de água do poço 1,6 MWh/ano, que tem um custo aproximado de 170 €.

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, ramo de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto. O trabalho assentou essencialmente no estudo da eficiência energética e na viabilidade de um investimento feito num edifício comercial do distrito do Porto, numa máquina térmica de condensação a água e uma torre de arrefecimento.

A princípio, foi feito a coleta de dados dos equipamentos do conjunto de centrais térmicas, onde com a reunião de informações, foi possível caracterizar os pormenores dos equipamentos de arrefecimento de água, antes e depois do investimento, como seu consumo de energia. Além de agregar valores para o trabalho, a coleta de dados foi interessante pelo facto de agregar conhecimento prático e teórico com os equipamentos de estudo para minha vida acadêmica e profissional.

Também foi realizado previsões de consumo de energia que apresentou uma diminuição significativa para o edifício, economizando uma média de 22 % ao ano sem o acréscimo do aumento de temperatura. Com a utilização do aumento de temperatura, previu um valor médio anual de 24,8 %. Consequentemente, houve uma redução direta de emissão de CO₂ à atmosfera por ano de pelo menos 246 toneladas de CO₂ para a situação sem o aumento de temperatura e para a outra situação, foi encontrado um valor de 247 toneladas de CO₂ para o ano de 2018 e chegando a 263 toneladas de CO₂ para o ano de 2037.

Através do valor investido e a previsão de consumo, foi encontrado um tempo de retorno de 5 anos e 6 meses, que equivale a pouco menos de um terço do tempo de vida estimado da máquina. Os valores do VAL encontrados para as situações sem o aumento e com o aumento de temperatura foram respetivamente um valor positivo de 719375 € e 781998 €, o que significa que, para as duas situações, os fundos de maneo gerados permitem compensar o valor do investimento, conseguindo ainda gerar excedentes financeiros. Os valores da TIR obtido foram respetivamente 12,5 % e 13,1 %.

Sobre o estudo do consumo de água, foi possível observar que o modelo de utilização da água da rede é o de maior custo, o que se torna o meio menos atrativo a ser utilizado. Já as águas subterrâneas e pluviais são de menor custo, o que as tornam de maior interesse. Apesar do edifício já ter instalado um sistema de captação de água do poço, o sistema de captação de águas pluviais se torna interessante pelo facto de que pode haver momentos em que é necessário ser feita a manutenção do equipamento de captação de água no poço e a água necessária para a torre de arrefecimento ser retirada da água de rede, o que geraria altos custos para o edifício. Também, a água pluvial teria

a vantagem sobre a água retirada do poço de não utilizar a quantidade de energia consumida pelo bombeamento.

Com tudo isso, podemos concluir que o investimento no equipamento de arrefecimento de água com condensação a água reduziu o consumo de energia mantendo os mesmos padrões de geração de água arrefecida antes de sua instalação, reduzindo também diretamente a emissão de CO₂. Além da eficiência energética apresentada, o investimento apresentou um tempo de retorno quase 4 vezes menor em relação ao tempo de vida da máquina e um valor de investimento considerável.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

- O estudo da implantação de um sistema de captação de águas pluviais, de forma a estudar a área livre para implantação e valores de projeto mais específicos do que o apresentado;
- O estudo da utilização dos grupos de eletrogêneos para geração de energia elétrica para a central térmica, substituindo a energia elétrica utilizada da rede;

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Adene. (2017). *Implementação Certificação Energética de Edifícios*. Fonte: Adene: <http://www.adene.pt/certificacao-energetica-de-edificios>

Albaladejoa, A., Trapotea, A., & Simónb, P. (2014). Energy consumption in an urban wastewater treatment plant: the case of Murcia Region (Spain). *Civil Engineering and Environmental Systems*, 304-310.

Andrade, P. B. (2012). Eficiência energética em edifícios: oportunidades e desafios. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Anglian water. (2016). Innovate and collaborate to avert water crises. *Raconteur*, 10.

Aqua service. (2017). Esquema de tratamento de torre de refrigeração. *Catalog*. Lisboa, Portugal.

Arora, C. P. (2006). *Refrigeration and Air Conditioning*. New Delhi: The McGraw-Hill companies.

ASHRAE. (2007). Owning and operating costs. *HVAC Applications*.

BAC. (2017). Closed circuit cooling tower. *Catalog*. Lisboa, Portugal.

Baltimore Aircoil Company. (2017). Closed circuit cooling tower. *Catalog*. Lisboa, Portugal.

Banco de Portugal. (Dezembro de 2017). Boletim Económico. Lisboa, Portugal: Departamento de Estudos Económicos.

California Energy Commission. (2005, November). California's Water – Energy Relationship. California.

Danfoss. (2014). The turbocor family of compressors TT400. Estados Unidos.

DGEG. (2015). *Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos*. Lisboa: Governo Português.

Diretiva nº 2010/31/CE. (2010). Diretiva 2010/31/UE do parlamento Europeu e do conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Estrasburgo.

Dossat. (1961). *Principles of refrigeration*. Tokyo: Toppan company LTD.

Eletrobrás. (2005). *Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial*. Rio de Janeiro : Eletrobrás.

Endesa. (2017). *Origem da Energia*. Fonte: Endesa: <https://www.endesa.pt/particulares/quemsomos/Origem-de-Energia.html>

Engie. (2016). General Data & Design Conditions: Quantum W220-E4G-HH. *Catalog Engie*.

ERSE. (2017). *Eletricidade*. Fonte: ERSE: <http://www.erse.pt/PT/ELECTRICIDADE/Paginas/default.aspx>

European Commission. (2010). *Energy-Efficient Buildings PPP : Multi-Annual Roadmap and Longer Term Strategy*. Belgium: European Union.

European Commission. (2016). *Water Scarcity & Droughts in the European Union*. Retrieved from European Commission: http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/scarcity_en.htm

European Commission. (2017). *Energy Efficiency*. Retrieved from European Commission: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency>

Eurostat. (2017). *Electricity price statistics*. Retrieved from Eurostat: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics

FEMP. (2011). Cooling Towers: Understanding Key Components of Cooling Towers and How to Improve Water Efficiency. *U. S. Department of energy*. Estados Unidos .

Hundy, G. F., Trott, A. R., & Welch, T. C. (2016). *Refrigerations, Air Conditioning and heat pumps* (5ª edição ed.). Elsevier.

INE. (2017). *Consumo doméstico de energia elétrica por consumidor*. Fonte: INE: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008225&contexto=bd&selTab=tab2

IPCC. (2013). Climate change 2013: The Physical Science Basis. *Intergovernmental panel on climate change*, pp. 1-76 Cap. 11.

IPMA. (2017). *Clima*. Fonte: IPMA: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/index.jsp?selTipo=m&selVar=rr&selAno=-1>

ISEP. (2017). *Meteorologia ISEP*. Fonte: Meteo ISEP: <http://meteo.isep.ipp.pt/#>

Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.

Kröger, D. G. (2004). *Air-Cooled heat Exchangers and Cooling Towers*. Oklahoma: Penn Well Corporation.

LNEG. (2017). *Clima*. Fonte: LNEG: <http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>

May, S. (2004). Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. *Dissertação de Mestrado USP*. São Paulo, Brasil.

- McClelland, J. (2016). Worldwide water crisis calls for fresh thinking. *Raconteur*, 08-09.
- Pereira, M. M. (2009). Optimização do tratamento químico de água e sua reutilização usando nanofiltração. *Tese de Mestrado FEUP*.
- Pimenta, J. P. (2014). Otimização do consumo de químicos aplicados nas Torres de Arrefecimento da Central Termoelétrica de Lares. *Dissertação de Mestrado Universidade do Minho*.
- PNUEA. (2012). Programa nacional para o uso eficiente da água. Portugal.
- Prado, M. (2016). *Eletricidade em Portugal terá consumo moderado e preço estável nos próximos cinco anos*. Fonte: Expresso: http://expresso.sapo.pt/economia/economina_energia/2016-07-20-Eletricidade-em-Portugal-tera-consumo-moderado-e-preco-estavel-nos-proximos-cinco-anos
- REFCOMP. (2007). 134-XS and 134-S series compressors. Lonigo, Italy.
- REFCOMP. (2007). Screw compressors for air conditioning. Lonigo, Italy.
- REN21. (2017). Renewables 2017: global status report. 302. Paris, France: REN21 Secretariat.
- Santos, C., Pinto, F. T., Cheng, C.-Y., & Leite, D. (2011). Otimização do consumo de água em edifícios. Implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas. *Publicação na 6ª Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP*. Lisboa, Portugal.
- Silva, P. F. (2013). Aproveitamento de águas pluviais - Implementação de um sistema na FCUP. Porto, Portugal.
- Stanford, H. W. (2012). *HVAC Water Chillers and Cooling Towers*. New York: CRC Press.
- Stoecker, W. F., & Jabardo, J. M. (2002). *Refrigeração Industrial*. São Paulo: Edgard Blucher LTDA.
- Tomaz, P. (2001). *Economia de água*. São Paulo, Brasil: Navegar.
- Wang, S. K. (2000). *Handbook of air conditioning and refrigeration*. New York: McGraw-hill Comanies.
- Wesper. (2008). Wesper model SLS R134a. Barlassina, Milão, Itália.
- Whitman, W. C., Johnson, W. M., Tomczyk, J. A., & Silberstein, E. (2013). *Refrigeration & Air Conditioning Technology*. New York: Delmar.
- Worldometers. (2017). *World Population*. Retrieved from Worldometers: <http://www.worldometers.info/>

ANEXOS

6 ANEXOS

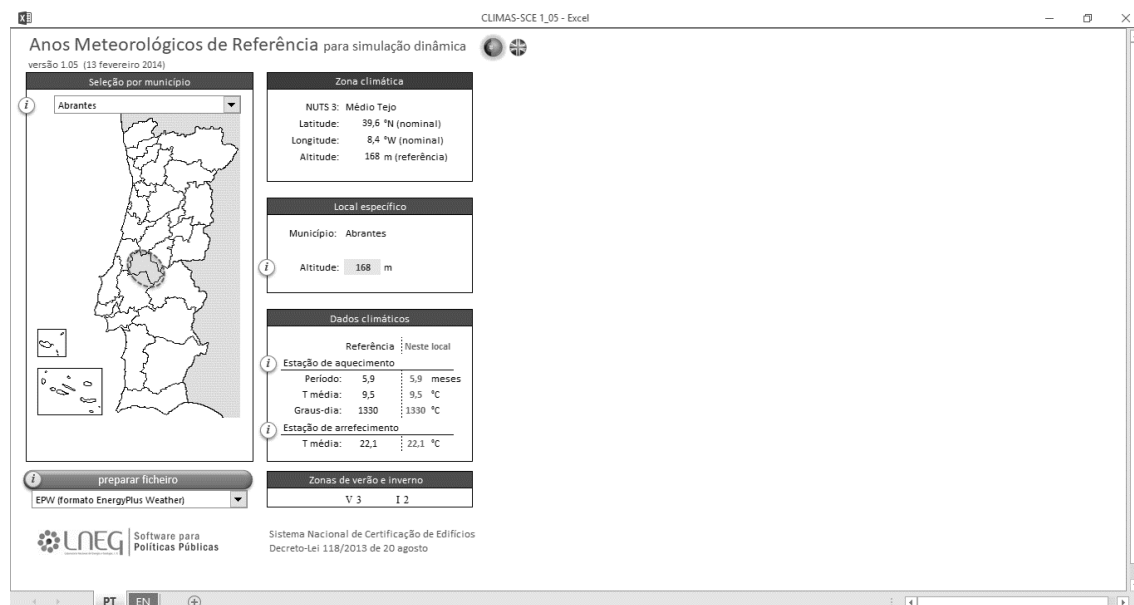
6.1 Energia consumida pela central térmica

Energia consumida pela central térmica (kwh)									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	134,32	155,92	123,80	86,20	83,59	88,22	79,23	108,19	118,01
Fevereiro	150,07	134,28	93,77	73,85	73,94	68,78	73,03	96,82	131,82
Março	237,79	150,83	139,12	139,00	93,44	122,12	119,28	108,82	162,86
Abril	194,97	267,20	283,15	126,39	123,88	174,71	194,06	129,77	241,54
Mai	353,46	314,93	348,66	235,35	152,29	230,74	256,75	188,26	319,95
Junho	421,46	413,52	328,12	288,97	257,80	319,75	364,59	297,48	387,74
Julho	461,94	611,81	341,74	339,13	448,36	397,71	393,42	444,88	409,02
Agosto	501,38	661,20	409,37	385,15	444,13	410,50	417,18	454,10	313,06
Setembro	434,69	503,59	344,16	374,15	383,35	401,32	232,54	313,57	207,29
Outubro	413,56	306,65	303,71	220,92	272,87	325,53	245,66	243,39	196,00
Novembro	216,83	174,74	143,32	110,05	142,79	155,60	177,96	1,10	92,00
Dezembro	170,16	150,09	119,32	108,41	97,52	115,40	148,40	84,03	79,00
Global	3.690,64	3.844,76	2.978,22	2.487,58	2.573,97	2.810,38	2.702,09	2.470,41	2.658,27

6.2 Temperatura média ambiente

Temperatura média ambiente mensal (°C)									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	10,6	11,2	11,8	9,4	11,3	10,4	8,1	12,1	10,0
Fevereiro	11,8	11,5	12,1	9,6	10,2	10,0	9,0	11,0	12,4
Março	15,4	13,4	14,5	14,6	12,9	12,4	12,1	11,2	13,3
Abril	14,5	18,0	19,9	13,6	14,7	15,4	16,4	13,2	16,4
Mai	19,9	19,2	21,7	16,8	15,7	16,7	18,0	15,7	18,1
Junho	22,2	21,5	21,6	19,1	20,6	20,2	20,8	19,0	19,8
Julho	21,8	24,2	20,2	19,5	22,8	20,9	20,8	22,3	20,3
Agosto	22,4	23,8	19,9	21,3	21,5	20,5	20,2	21,7	20,5
Setembro	21,3	21,5	19,3	21,7	20,3	20,9	18,1	19,3	17,9
Outubro	20,3	17,5	18,8	16,9	17,3	19,0	17,5	17,4	18,7
Novembro	15,2	13,1	13,4	12,3	11,5	13,1	14,5	13,1	13,5
Dezembro	11,6	11,2	10,8	11,9	9,5	9,0	13,8	11,9	11,1

6.3 Programa CLIMAS-SCE



6.4 Previsões de temperaturas

Previsões de temperaturas médias °C								
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Janeiro	10,27	10,32	10,38	10,43	10,49	10,55	10,60	10,66
Fevereiro	11,36	11,41	11,47	11,52	11,58	11,63	11,69	11,74
Março	13,02	13,07	13,13	13,18	13,24	13,29	13,35	13,40
Abril	14,28	14,33	14,39	14,44	14,50	14,56	14,61	14,67
Maio	16,57	16,63	16,68	16,74	16,79	16,85	16,90	16,96
Junho	19,70	19,75	19,81	19,86	19,92	19,97	20,03	20,08
Julho	21,86	21,91	21,97	22,03	22,08	22,14	22,19	22,25
Agosto	21,68	21,73	21,79	21,84	21,90	21,95	22,01	22,07
Setembro	20,30	20,35	20,41	20,46	20,52	20,58	20,63	20,69
Outubro	17,28	17,34	17,39	17,45	17,50	17,56	17,61	17,67
Novembro	13,72	13,78	13,84	13,89	13,95	14,00	14,06	14,11
Dezembro	11,62	11,67	11,73	11,78	11,84	11,89	11,95	12,00

Previsões de temperaturas médias °C							
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Janeiro	10,71	10,77	10,82	10,88	10,93	10,99	11,04
Fevereiro	11,80	11,86	11,91	11,97	12,02	12,08	12,13
Março	13,46	13,52	13,57	13,63	13,68	13,74	13,79
Abril	14,72	14,78	14,83	14,89	14,94	15,00	15,06
Mai	17,01	17,07	17,13	17,18	17,24	17,29	17,35
Junho	20,14	20,19	20,25	20,31	20,36	20,42	20,47
Julho	22,30	22,36	22,41	22,47	22,53	22,58	22,64
Agosto	22,12	22,18	22,23	22,29	22,34	22,40	22,45
Setembro	20,74	20,80	20,85	20,91	20,96	21,02	21,08
Outubro	17,72	17,78	17,84	17,89	17,95	18,00	18,06
Novembro	14,17	14,22	14,28	14,33	14,39	14,45	14,50
Dezembro	12,06	12,12	12,17	12,23	12,28	12,34	12,39

6.5 Cálculo do tempo de retorno

Ano	Mês	Temp. °C	Consumo sistema antigo (kWh)	Consumo sistema novo (kWh)	Valor economia (€)
2017	Janeiro	10,0	118006	87326	3.275,84
	Fevereiro	12,4	131816	89269	4.581,10
	Março	13,3	162856	97557	7.083,94
	Abril	16,4	241539	157658	9.127,87
	Mai	18,1	319949	211383	11.843,25
	Junho	19,8	387739	279818	11.772,28
	Julho	20,3	409022	302745	11.591,47
	Agosto	20,5	386647	312272	8.082,17
	Setembro	17,9	274660	204299	7.640,74
	Outubro	18,7	306191	233857	7.857,79
	Novembro	13,5	147734	99958	5.156,33
	Dezembro	11,1	111665	84578	2.880,62
Somatória					90.893,39

Investimento	500.000,00 €
Economia	90.893,39 €
Tempo de retorno (anos)	5,5